المجلد 26 ـ العددان 6/5



الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهريًا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 26 ـ العددان 6/5
مايو/ يونيو 2010

SCIENTIFIC
AMERICAN
May / June 2010

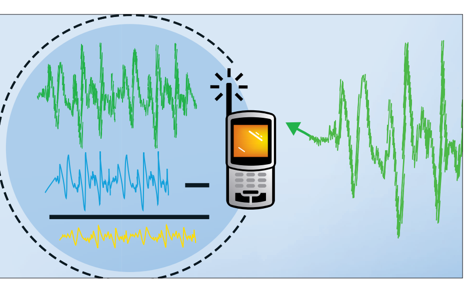
مغامرات في «الزمان-المكان» المنحني



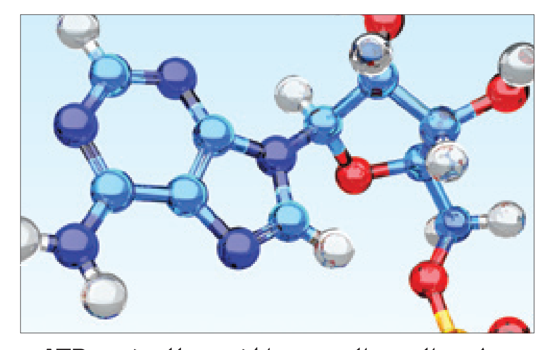
تطور رؤية الألوان لدى الرئيسيات



حرب نووية إقليمية،
والمعاناة عالمية



بزوغ الشبكات اللاسلكية الفورية



يطرح الدور الحيوي المزدوج للجزيء ATP
أفكارًا جديدة لمحاربة الأمراض في جسم الإنسان



أموال حقيقية من عوالم افتراضية



هل يمكن لنقص الأغذية
أن يؤدي إلى انهيار الحضارة؟

مجلة العلوم





الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 26 ـ العددان 6/5 (2010)
266/265

مراسلات التحرير

توجه إلى : **رئيس تحرير مجلة العلوم**
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق ـ الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
العنوان الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw ـ موقع الويب: www.kfas.org
هاتف : 22428186 (965+) ـ فاكس : 22403895 (965+)

الإعلانات

في الوطن العربي يتفق عليها مع **قسم الإعلانات** بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to*
SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O. Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	٭	جنيه	الكويت	1.500	دينار	4	£	Britain
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	٭	ليرة	2.5	Cl	Cyprus
البحرين	1.800	دينار	الصومال	٭	شلن	ليبيا	٭	دينار	6	€	France
تونس	2.5	دينار	العراق	ـ	ـ	مصر	7	جنيه	6	€	Greece
الجزائر	٭	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	6	€	Italy
جيبوتي	٭	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	٭	أوقية	6	$	U.S.A.
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	6	€	Germany

[٭ ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
٭ للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
٭ للأفراد	16	56
٭ للمؤسسات	32	112

ملاحظة : تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

مراكز توزيع *مجلة العلوم* في الأقطار العربية:

• الإمارات: شركة الإمارات للطباعة والنشر والتوزيع ـ أبوظبي/ دار الحكمة ـ دبي • البحرين: الشركة العربية للوكالات والتوزيع ـ المنامة • تونس: الشركة التونسية للصحافة ـ تونس • السعودية: تهامة للتوزيع ـ جدة ـ الرياض ـ الدمام • سوريا: المؤسسة العربية السورية لتوزيع المطبوعات ـ دمشق • عُمان: محلات الثلاث نجوم ـ مسقط • فلسطين: وكالة الشرق الأوسط للتوزيع ـ القدس • قطر: دار الثقافة للطباعة والصحافة والنشر والتوزيع ـ الدوحة • الكويت: الشركة المتحدة لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ الكويت • لبنان: الشركة اللبنانية لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ بيروت • مصر: الأهرام للتوزيع ـ القاهرة • المغرب: الشركة الشريفية للتوزيع والصحافة ـ الدار البيضاء • اليمن: الدار العربية للنشر والتوزيع ـ صنعاء.

يمكن تزويد المشتركين في **العلوم** بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and formats ثم اضغط OK

بزيارة الموقع **www.kfas.org** يمكن الاطلاع على صفحة محتويات الإصدار الأخير لـ **العلوم** باللغتين العربية والإنكليزية، وعلى معلومات حول الاشتراكات في هذه المجلة.

شارك في هذا العدد

خضر الأحمد
سعيد الأسعد
أمل الأشقر
حسام بدوية
عدنان تكريتي
جمال جودة
عدنان الحموي
سعدالدين خرفان
محمود خيال
هند داود
غدير زيزفون
قاسم السارة
تيسير الشامي
ريمون شكوري
سحر الفاهوم
أمل كفا
يوسف محمود
وحيد مفضل
حاتم النجدي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

4

فيزياء
مغامرات في الزمكان المنحني
<E. كيرون>
ريمون شكوري - خضر الأحمد

تُبين إمكانية «السباحة» و«الانزلاق» في فضاء منحن خال، أن نظرية آينشتاين في النسبية العامة مازالت مذهلة حتى بعد مرور تسعة عقود على تقديمها.

14

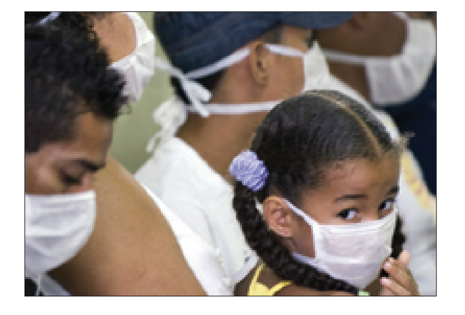
تقانة المعلومات
أموال حقيقية من عوالم افتراضية
<R. هيكس>
سعيد الأسعد - عدنان الحموي

ألعاب حاسوبية من صنع الخيال متاحة مباشرة (على الخط)، تمكِّن أربابَ الأعمال في البلدان النامية من كسب عيشهم عن طريق مقايضة كنوز من الذهب الوهمي مقابل أموال نقدية.

22

تطور
تطور رؤية الألوان لدى الرئيسيات
<H.G. جاكوبس> ـ <J. ناثانز>
أمل كفا - أمل الأشقر

يُظهر تحليل الأصبغة البصرية لدى الرئيسيات أن رؤيتنا للألوان قد تطورت بطريقة غير عادية، وأن للدماغ قدرة على التكيف أكثر مما كان يُعتقد.

32

طب
تعزيز قوة اللقاح
<N. كارسون> ـ <M. گولدمان>
قاسم السارة - سحر الفاهوم

أعادت تبصرات جديدة في النظام المناعي إحياء الاهتمام بإضافة مكونات تستطيع شحن اللقاحات القديمة بقوى فائقة وتجعل اصطناع لقاحات جديدة تمامًا أمرًا ممكنا.

42

بيئة
حربٌ نوويةٌ إقليمية، والمعاناة عالمية
<A. روبوك> — <O.B. توون>
يوسف محمود - وحيد مفضل

إن خطر نشوب حرب نووية لا يزال قائما، إذ يمكن أن يؤدي الصراع ما بين الهند وباكستان إلى حرب نووية إقليمية تحجب أشعة الشمس وتُجوِّع الكثيرَ من البشر.

«*مجلة العلوم*» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلثي محتوياتها ترجمة لـ«***ساينتفيك أمريكان***» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «***ساينتفيك أمريكان***» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيّم للصور والرسوم الملونة والجداول.

52

تقانة

بزوغ الشبكات اللاسلكية الفورية

<M. إفروس> – <A. گولدسميث> – <M. مِدارد>

حاتم النجدي - عدنان الحموي

شبكات لاسلكية تتكوَّن خلال طرفة عين، توفر اتصالات بأكثر البيئات تحذيرا.

58



بيئة

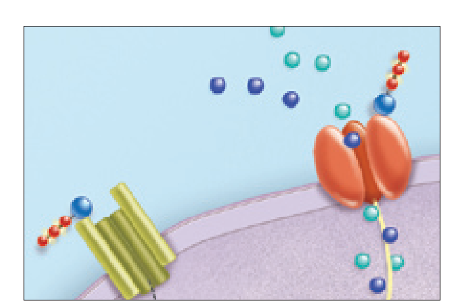
هل يمكن لنقص الأغذية أن يؤدي إلى انهيار الحضارة؟

<L.R. براون>

تيسير الشامي - سعدالدين خرفان

إن أكبر خطر يهدد الاستقرار العالمي هو احتمال حدوث أزمات في تأمين الأغذية للبلدان الفقيرة يؤدي إلى انهيار حكوماتها. تلك الأزمات التي يسببها استمرار تفاقم التدهور البيئي.

68



طب

الدور الحيوي المزدوج للجزيء ATP (ثلاثي فوسفات الأدينوزين)

<B.S. خاخ> ـ <G. بيرنستوك>

عدنان تكريتي - محمود خيال

إضافة إلى الدور المشهور للجزيء ATP كمصدر أساسي للطاقة داخل الخلايا، فإنه يعمل أيضاً كناقل مهم للإشارات والرسائل في جميع أرجاء الجسم. وهذا الدور المزدوج يقدم أفكاراً جديدة لمحاربة الأمراض في الإنسان.

78



طب

فنّ الحرب البكتيري

<B.B. فينالاي>

حسام البدوية ـ هند داود
&
التحرير

تظهر الدراسات الحديثة، كيف تستغل البكتيريا خلايا جسمنا وتتفوق على نظامنا المناعي، وكيف يمكننا استخدام أسلحتها ضدها.

88



طب

غاز سام منقذ للحياة

<R. وانگ>

جمال جوده - غدير زيزفون

لقد تبين أن سلفيد الهدروجين – وهو غاز مميت تشبه رائحته رائحة البيض الفاسد – يؤدي أدوارا رئيسية في جسم الإنسان. وهذا الاكتشاف قد يقود إلى علاج جديد للمعرضين للنوبات القلبية ولمرضى آخرين أيضا.

96 **أخبار علمية**

هوائيات البلازما تختفي حين إطفائها.

97 **اسألوا أهل الخبرة**

كيف يعثر خفرُ السواحل على المفقودين في البحر؟

مجلة العلوم

المجلد 26 العددان 6/5
مايو/ يونيو 2010

Majallat AlOloom

مغامرات في الزمكان المنحني(*)

تُبين إمكانية «السباحة» و«الانزلاق»(١) في فضاء منحن(٢) خال، أن نظرية آينشتاين في النسبية العامة مازالت مذهلة حتى بعد مرور تسعة عقود على تقديمها.

<E. گيرون>

مفاهيم مفتاحية

- في نظرية آينشتاين في النسبية العامة، تنشأ **الثقالة** gravity عن **الزمكان**(٣) نتيجة انحنائه. وفي هذه الأيام، التي تشهد مرور 90 عاما على تقديم آينشتاين معادلات نظريته، مازال الفيزيائيون يكتشفون مفاجآت جديدة فيها.
- فمثلا، يمكن لجسم في فضاء منحن أن يتحدى ظاهريا قوانين الفيزياء الأساسية و«يسبح» في فضاء خال، دون الحاجة إلى أن يَدْفع أي شيء أو يُدْفع بأي شيء.
- أيضا، يسمح الزمكان المنحني بنوع من الانزلاق، إذ يمكن لجسم فيه إبطاء هبوطه حتى ولو كان في خلاء.

محررو ساينتفيك أمريكان

في أربعينات القرن الماضي، كان الفيزيائي <G. گامو> يروي سلسلة قصصه المشهورة عن مغامرات السيد <C. G. تومپكنز> [وهو موظف بسيط كان يعمل في أحد البنوك] وتراوده أحلام زاهية لعوالم تقتحم الحياة اليومية فيها ظواهر فيزيائية غريبة. فمثلا، في أحد تلك العوالم، كانت سرعة الضوء خمسة عشر كيلومترا في الساعة، وهذا يبرز النتائج العجيبة لنظرية آينشتاين في النسبية الخاصة؛ لأن هذه السرعة قريبة من سرعتك عند ركوبك دراجة هوائية.

في زمن ليس ببعيد قابلت مجازيا السيد <E. M. إيڤرارد> [ابن أحد أحفاد السيد <تومپكنز>]، وهو فيلسوف ومهندس يواصل ممارسة تقاليد سلفه. لقد أبلغني عن تجربة مذهلة مرّ بها تتعلق ببعض الجوانب المكتشفة حديثا لنظرية آينشتاين في النسبية العامة والتي سأشرككم فيها. يرد في قصته مرارا الزمكان المنحني، وقطط تفتل في الهواء، وكلب رائد فضاء مُعرَّض للخطر يحرك قوائمه عبر الخلاء لينجو بنفسه – وربما <إسحق نيوتن> الذي يتلوى في قبره.

(*) ADVENTURES IN CURVED SPACETIME
(١) gliding
(٢) curved أو محدب.
(٣) space-time = زمكان، وهذه نحت من زمان ومكان.
(التحرير)



منحنيات خطرة بانتظارنا(*)

في منطقة بعيدة في أعماق الكون، خرج السيد ‹إيڤرارد› من مركبته الفضائية لإصلاح هوائي معطوب. لاحظ أن الأضواء الجميلة للنجوم البعيدة تبدو مشوهة، وكأنه يشاهدها من خلال عدسة سميكة. شَعَر أيضا بأن هناك شيئا يمط جسمه مطا خفيفا. خامرته ظنون بأنه على عِلْم بما يجري، فأخرج من حزام عُدَّته مؤشرا لِيزريا، وعلبة معجون حلاقة، ثم شغَّل عُدَّة النفث ليختبر فكرة لمعت في ذهنه.

اندفع بفعل عدة النفث على مسار مستقيم مسافة مئة متر مستعينا بحزمة ليزرية لتوجيه مساره، ومن ثم استدار يسارا قاطعا عدة عشرات من الأمتار بذلك الاتجاه، وأخيرا عاد إلى نقطة بدايته، فرسم بذلك مثلثا من رغوة معجون حلاقة، وكأنها أداة كونية للكتابة السماوية. بعدئذ، قاس زوايا رؤوس المثلث بمنقلة ثم جمع قياسات الزوايا، وكانت النتيجة أكبر من مئة وثمانين درجة.

لم يدهشه مطلقا الانتهاك الظاهري لقواعد الهندسة. فقد تذكر باعتزاز حادثا عرضيا وقع له في مكتب والديه أثناء طفولته يتعلق بهندسة لاإقليدية مزعجة حين رسم مثلثا على خريطة كروية لكوكب الأرض، فكان مجموع الزوايا في ذلك المثلث أكبر من مئة وثمانين

(*) Dangerous Curves Ahead

درجة أيضا. لذا، استنتج وجوب كون الفضاء المحيط به والذي يبعد عنه عِدَّة سنوات ضوئية، منحنيا أيضا، تماما مثل سطح تلك الخريطة الكروية. وقد استخلص أن هذا الانحناء (التقوس) يعلل ذلك التشوه في ضوء النجوم ويعلل إحساسه غير المريح بالمط.

وهكذا فَهِم السيد <إيڤرارد> أنه كان يجرب ما ورد في الكتب المدرسية عن نتائج النسبية العامة. وقبل مدة طويلة دُعمت تلك النتائج بتجارب ذات طبيعة أكثر إتقانا من استعمال رغوة معجون الحلاقة في نزهته المرحة، إذ أثبتت تلك التجارب أن المادة والطاقة تحنيان المكان والزمان، وأن انحناء الزمكان يجعل المادة والطاقة تسلكان مسارات منحنية. (ومن الأمثلة على الطاقة: شعاع مؤشره الليزري والضوء الآتي من النجوم.) كان رأسه وقدماه «يريدان» سلوك منحنيين مختلفين اختلافا طفيفا، وهذا الاختلاف هو الذي ولّد الإحساس بالمط.

وخلال استغراق السيد <إيڤرارد> في التفكير في تلك الحقائق قرر العودة إلى مركبته الفضائية التي كانت تبعد مسافة جيدة (أو بالأحرى سيئة) قدرها مئة متر عن منطقة الأمان داخل كبسولته المقفلة هوائيا، فأعاد الضغط على زر تشغيل عدة النفث، ولكن لم يحدث أي شيء. وحين لاحظ أن مؤشر خزان الوقود يشير إلى الصفر تولاه الفزع. وفي الواقع، كان هو ومثلَّثه الرغوي يندفعان بسرعة ثابتة مبتعديْن عن المركبة الفضائية.

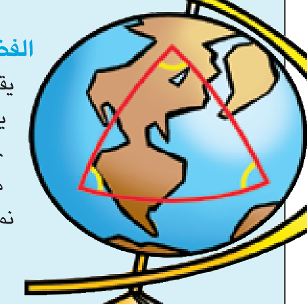
لذا تصرّف بسرعة: فرمى مباشرة منقلته ومؤشره الليزري وعلبة الرغوة، وجميع الأشياء الأخرى الموجودة في حزام عُدَّته، بعيدا عن مركبته الفضائية. وكان يرتد مع كل رمية قليلا بعكس اتجاه الرمي، أي باتجاه مركبته، وذلك وفق مبدأ **انحفاظ الزخم**[٥]. وقد نزع أخيرا حتى عُدَّة النفث وقذف ذلك العبء الثقيل بعيدا بكل ما أوتي من قوة. ولكن،

الزمكان المنحني[*]

تذهب النسبية العامة إلى أن الثقالة تنشأ عن انحناء الزمكان، ولكن ما الذي يَعْنِيهِ الزمكان المنحني وما هي بعض تداعياته؟

الفضاء المنبسط (المسطح)[١]

الهندسة التي تُعَلَّمُ في المدارس إقليدية، (أي هندسة الفضاء «المنبسط»). في هذا الفضاء، مجموع قياسات زوايا المثلث 180 درجة. وكل مستوٍ ثنائي البعد، مثل سطح طاولة البلياردو، هو فضاء منبسط. وبتقريب جيد جدا، يمكننا القول أيضا إن العالم الثلاثي الأبعاد المحيط بنا هو فضاء منبسط: فإذا أنشأنا مثلثا في الهواء باستعمال ثلاث حزم ليزرية لرسم أضلاع المثلث، فإن مجموع زواياه 180 درجة، وهذا صحيح في أي منطقة يرسم فيها المثلث.



الفضاء المنحني (المحدب)[٢]

يقدم سطح كرة مثالا على سطح منحن ثنائي البعد. وعلى الكرة، يكون مجموع زوايا مثلث أكبر من 180 درجة، وهذه سمة مميزة لمنطقة ذات انحناء (تقوس) «موجب». قد تبدو لنا أضلاع المثلث منحنية في الأبعاد الثلاثة، ولكنها مستقيمة تماما بالنسبة إلى نملة تدب على الكرة.

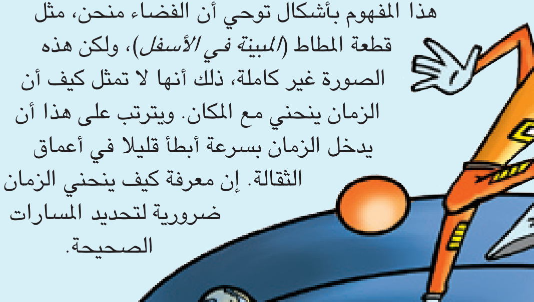


الانحناء (التقوس) السالب[٣]

لسطح السرج انحناء (تقوس) سالب، ومجموع قياسات زوايا مثلث مرسوم عليه أقل من 180 درجة.

الثقالة تنشأ عن الانحناء (التقوس)[٤]

تنصّ نظرية النسبية العامة على أن تركيزات الكتلة والطاقة تحني الزمكان حولها، وهذا الانحناء يجعل الأجسام – كالأرض التي تدور حول الشمس – تسلك مسارات منحنية، ويقع بعضها تجاه البعض الآخر. وفي معظم الظروف، تكون هذه المسارات شديدة الشبه بتلك التي يتنبأ بها قانون نيوتن في الثقالة الذي يُحسب في زمكان منبسط. وغالبا ما يُجسَّد هذا المفهوم بأشكال توحي أن الفضاء منحن، مثل قطعة المطاط (*المبينة في الأسفل*)، ولكن هذه الصورة غير كاملة، ذلك أنها لا تمثل كيف أن الزمان ينحني مع المكان. ويترتب على هذا أن يدخل الزمان بسرعة أبطأ قليلا في أعماق الثقالة. إن معرفة كيف ينحني الزمان ضرورية لتحديد المسارات الصحيحة.

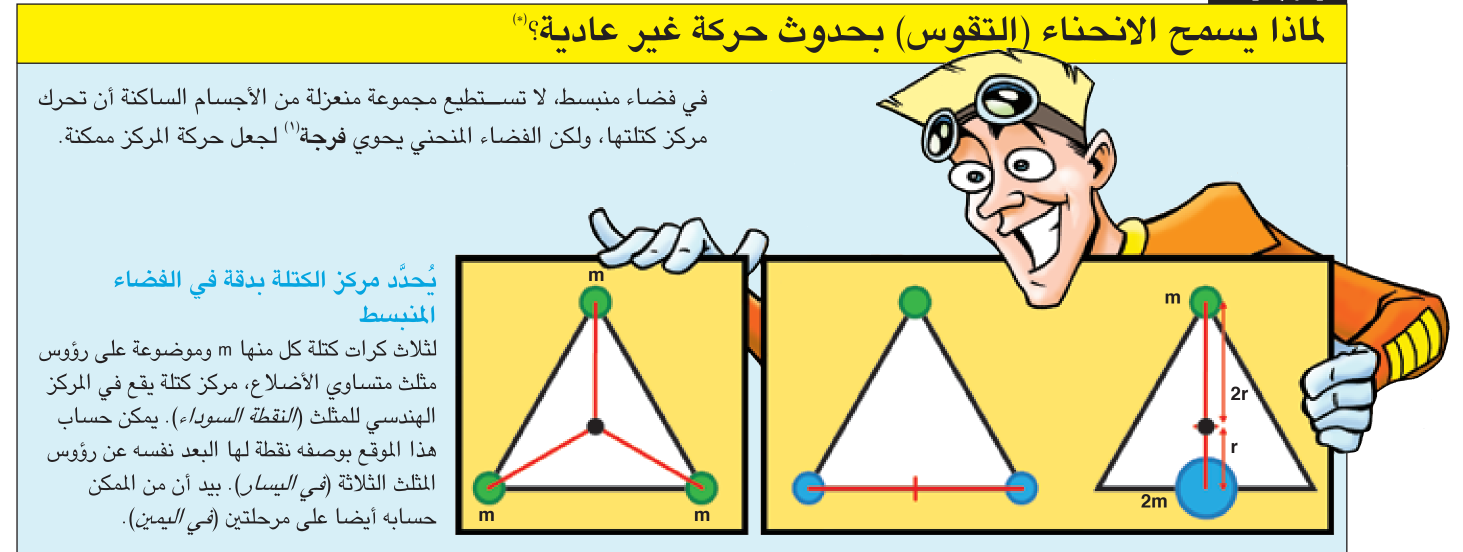




(*) CURVED SPACETIME
(١) FLAT SPACE
(٢) CURVED SPACE
(٣) NEGATIVE CURVATURE
(٤) GRAVITY COMES FROM CURVATURE
(٥) momentum conservation

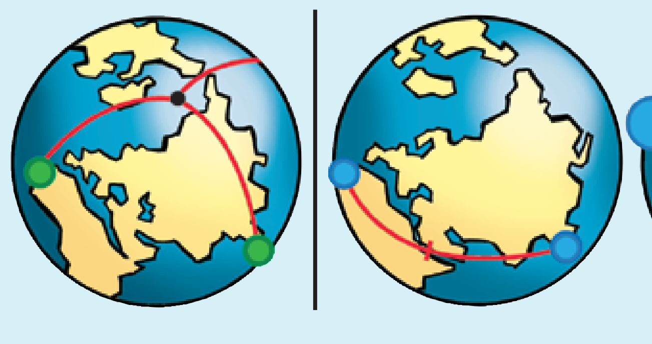
لماذا يسمح الانحناء (التقوس) بحدوث حركة غير عادية؟[*]

في فضاء منبسط، لا تستطيع مجموعة منعزلة من الأجسام الساكنة أن تحرك مركز كتلتها، ولكن الفضاء المنحني يحوي **فرجة**[1] لجعل حركة المركز ممكنة.



يُحدَّد مركز الكتلة بدقة في الفضاء المنبسط

لثلاث كرات كتلة كل منها m وموضوعة على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع، مركز كتلة يقع في المركز الهندسي للمثلث (*النقطة السوداء*). يمكن حساب هذا الموقع بوصفه نقطة لها البعد نفسه عن رؤوس المثلث الثلاثة (*في اليسار*). بيد أن من الممكن حسابه أيضا على مرحلتين (*في اليمين*).



لا يمكن تحديد مركز الكتلة بدقة في الفضاء المنحني

تصور الآن أن الكرات الثلاث موجودة في فضاء منحن، مثل سطح كرة، وأن مواقعها في دكار وسنغافورة وتاهيتي على الكرة الأرضية. عند حساب مركز الكتلة باعتباره نقطة متساوية الأبعاد عن هذه الكرات الثلاث نجد موقعه قريبا من القطب الشمالي (*في اليسار*). أما إذا حسبنا مركز الكتلة على مرحلتين، فإننا نجد نقطة قريبة من خط الاستواء (*في اليمين*). وهذا الغموض في مركز الكتلة يجعل بالإمكان «السباحة» عبر فضاء منحن.

وللأسف، حين لم يبق أي شيء يُقذف، وجد أنه لا يستطيع فعل شيء سوى إبطال تأثير حركته الأولى عند ابتعاده عن المركبة. أصبح الآن عائما في الفضاء وساكنا بالنسبة إلى سفينته لكنه مازال بعيدا عنها. كان من الممكن أن يبدو موقفه ميؤوسا منه: فقد غرس في ذهنه مدرس الفيزياء الذي علّمه في المرحلة الثانوية، استحالة تسريع جسم من دون أن تؤثر فيه قوة خارجية، أو أن تُقذَف منه كتلة ما.

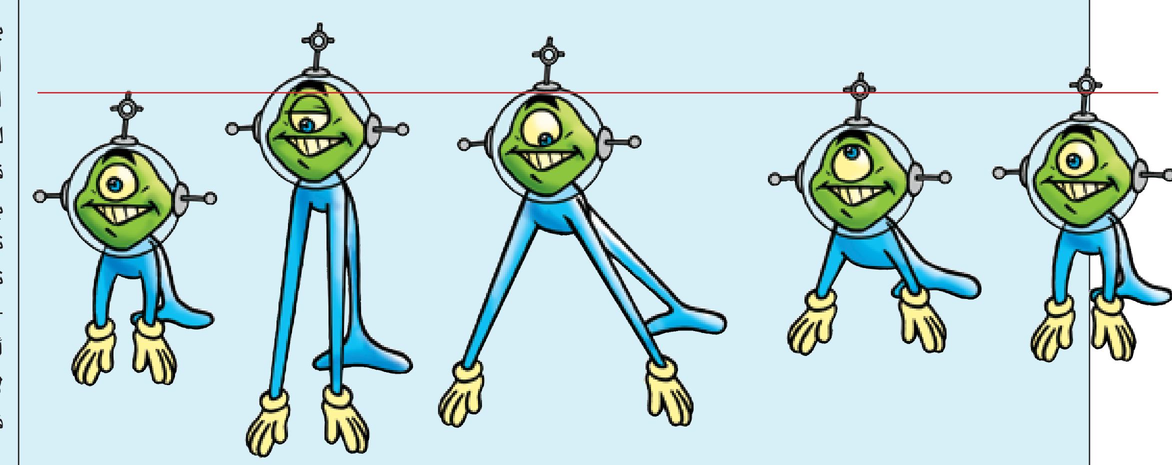
من حسن حظ صاحبنا العائم أنه سبق وأثبت أنه موجود في فضاء منحن، وأنه يمتلك ما يكفي من الحكمة لمعرفة أن بعض قوانين الانحفاظ في الفيزياء التي تعلّمها في سنواته الدراسية، تعمل في منحن بطريقة تختلف عن عملها في فضاء منبسط نيوتني (غير منحن). وبوجه خاص، تذكر أنه قرأ سنة 2003 بحثا في الفيزياء بيّن فيه **عالم الكواكب**[2] <J. ويزدم> [من المعهد MIT] إمكانية التحرك لرائد فضاء عبر فضاء منحن بأساليب تُعد مستحيلة حسب قوانين نيوتن للحركة، وذلك، ببساطة، بتأدية حركات بذراعيه وساقيه بطريقة صحيحة. وبعبارة أخرى، يستطيع السباحة من دون حاجة إلى مانع يندفع عبره، أي بإمكانه استعمال أسلوب يسمى **تجديف الكلاب**[3] عبر الفضاء الخالي.

وتشبه الحركات المتقنة الموصوفة في بحث <ويزدم> الكيفية التي تتبعها قطة حين تسقط من مكان عال ورأسها في الأسفل، إذ تستطيع لوي جسمها، وسحب قوائمها

(*) WHY CURVATURE ALLOWS UNUSUAL MOTION
(1) loophole
(2) planetary scientist
(3) dog-paddle: أسلوب في السباحة خاصيته المميزة استلقاء السبّاح على صدره وتحريك ذراعيه ويديه بالتناوب، وهو يذكر بطريقة سباحة الكلاب. (التحرير)

سبّاح في الزمكان المنحني (المقوس)[*]

يمكن لآلة شبيهة بالمِنْصب الـذي له ثـلاث **قوائـم**[١] السـباحة في زمكان خال لكنـه منحـن، وذلـك بمد قوائمها وفتحها وسحبها بطريقـة دوريـة. وكل دورة تنفذ فيهـا أربعـة أفعال تحرك المنصب عبر الفضاء - هنا مسـافة صغيرة في أعلـى الصفحة - مع أنها لا تقذف **داسـرًا**[٢] ولا تؤثر فيها قوة خارجية.



ومدّهـا، فتسـتطيع فتل جسـمها، ومن ثم تتمكن من الهبوط أرضا وهي على قوائمها. تسـمح قوانـين الميكانيك النيوتنـي بتغيير توجيـه حركة القطة من دون حاجة إلى دفع أي شيء، ولا أن تُدفع بأي شيء، ولكن تلك القوانين لا تسمح بتغيير سرعتها.

يسـتعمل ملاحو الفضـاء، أمثال أولئك الموجوديـن على مـتن **المحطة الفضائية الدوليـة**[٣]، عند تدوير أنفسـهم في حالات انعـدام الوزن، صيغةً لأسـلوب فتل القطط لأجسـامها مـن دون الحاجـة إلى **مقبض يدوي**[٤]. تقوم قطة أو رائد فضاء في الزمكان المنحني للنسـبية العامة بحـركات بهلوانية أكثر روعة. أما بطل قصتنا، فقد قطع مسافة العودة إلى مركبتـه الفضائية بزمن يتجاوز الساعة بقليل، وهذه سرعة، وإن لم تكن رقما قياسيا أولمپيا، لكنها بالتأكيد كافية لتضمن أن يعيش ليضطلع بمزيد من المغامرات.

دروس في السباحة[**]

كيف تعمـل بالضبـط الظاهـرة التي وصفها ‹ويزدم› في بحثه؟ وكيف يستطيع مغامر مثل السـيد ‹إيڤرارد› السباحة في الفضـاء؟ في فضـاء مسـطح - أي ذلك الفضـاء المفترض في الميكانيـك النيوتني، وفي النسـبية الخاصة أيضـا - لا يمكن مطلقا تسـريع مركز ثقـل منظومة معزولة (مثـل منظومة رائد فضـاء مع الوزن الميت لعُدّة النفث). لنفترض أن السيد ‹إيڤرارد› ربط عُدَّة النفث بحبل طويل قبل قذفها بغية اسـتردادها بعدئذ بإعـادة لفها. ماذا كان يمكـن أن يحدث؟ إن مركـز ثقل منظومتها (المكونة من الرائد وعُدَّته) سـيبقى من دون تغيير طـوال كامل الرحلة منذ بدايتها حين أخذ الرائد والعـدة بالابتعاد أحدهما عن الآخـر، ومن ثم عند دنـو أحدهما من الآخـر مجـددا. وسـتكون النتيجة فـي نهاية المطاف عـودة الرائد وعُدَّتـه إلى موقعهمـا الأولي. بعبارة أعمّ، لا يسـتطيع السيد ‹إيڤرارد› التحرك بمجرد تبديل هيئته أو بنيته ثم استعادتها ثانية.

أما في فضاء منحـن، فيختلف الموقف. وكي نفهم السـبب، لنتصور مخلوقا غريبا (وسنطلق عليه في بقية المقالة اسم الغريب) بذراعين وذنب، كل منها قابل للمد والسحب [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. لتبسيط المناقشـة، لنتصور أن كتلـة الغريب مُركزة كلها تقريبا في نهايات أطرافه الثلاثة بحيث

للزمكان انحناء (تقوس)[٥] ضئيل جدا باستثناء المناطق القريبة من ثقب أسود. لذا، ففي التطبيق العملي، لابد لك أن تكون سبحت بلايين السنين قبل أن تقطع مليمترا واحدا.

(*) A SWIMMER IN CURVED SPACETIME
(**) Swimming Lessons
(١) tripodlike
(٢) propellant
(٣) the International Space Station
(٤) handhold
(٥) curvature

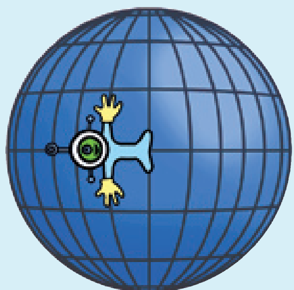
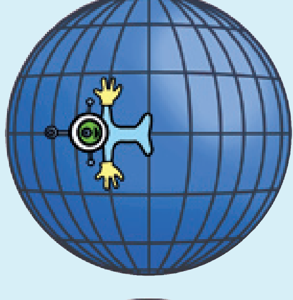
يقع ربع كتلة في كل من يديه ونصفها المتبقي في نهاية الذنب. يعجز هذا الغريب عن العوم في فضاء مسطح، فإذا حاول مد ذنبه مترين، مثلا، تحركت اليدان إلى الأمام مسافة متر واحد، وتحرك طرف الذنب إلى الوراء مسافة متر واحد، محافظا على مركز الكتلة. وسحب الذنب مرة أخرى يعيد الغريب بكامل جسمه إلى موقعه الابتدائي، تماما مثل السيد <إيڤرارد> وعُدَّة النفث الخاملة. وتحدث أشياء مشابهة إذا حاول الغريب مد ذراعيه. وفي الواقع، فمهما كانت مجموعة أو متتالية حركات المد والسحب التي ينفذها الغريب، فإن مركز ثقله يبقى صامدا في مكانه. ولعل أفضل ما يمكنه فعله هو استعمال أسلوب القطط (مد الأطراف، وفتلها دائريا، وسحبها، ثم إعادة فتلها) لتغيير المنحى المتجه إليه.

والآن لنتصور أن هذا الغريب يعيش في فضاء منحن شكله شبيه بسطح كرة. سأستعمل مصطلحات جغرافية لوصف المواقع والاتجاهات على الكرة للمساعدة على تصور هذا الفضاء. يوجد الغريب في البداية على خط استواء الكرة بحيث يتجه رأسه غربا، ويكون كل من ذراعيه وذنبه منسحبا نحوه. يمد إحدى ذراعيه نحو الشمال والأخرى نحو الجنوب، ثم يطوِّل ذنبه محتفظا بذراعيه ممتدتين وتصنعان زاويتين قائمتين مع جسمه. وكما هو الحال في فضاء مسطح، إذا تحرك طرف الذنب ذو الوزن الثقيل مسافة متر واحد شرقا تحركت اليدان نتيجة لذلك مسافة متر واحد غربا. ولكن هنا يكمن الفرق الحاسم في الحركة على الكرة، إذ يُبقي الغريب ذراعيه ممتدتين بموازاة خطوط طول الكرة، وتكون المسافات الفاصلة بين تلك الخطوط أكبر ما يمكن على خط استواء الكرة. وهكذا حين تتحرك يدا الغريب (القريبتان إلى قطبي الكرة الشمالي والجنوبي) مسافة متر واحد غربا، يتحرك كتفاه (الواقعان على خط الاستواء) مسافة

[لماذا هي تعمل]

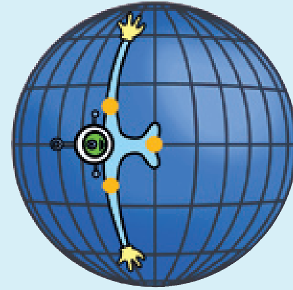
التجديف عبر كرة(*)

يمكن فهم السباحة عبر زمكان منحن بالتفكير في سباح بسيط غريب ذي بعدين يعيش على سطح كرة.

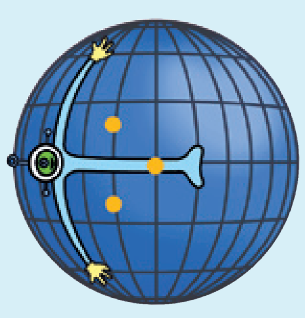
تحديد الاتجاهات بدقة

يواجه السباحُ الغربَ، وذراعاه تتجهان إلى الشمال والجنوب، وذيله يتجه شرقا. ولتبسيط المناقشة، تصور أن كل كتلة السباح مركزة في نهاية أطرافه – ربع في كل يد، والنصف الباقي في نهاية ذيله.



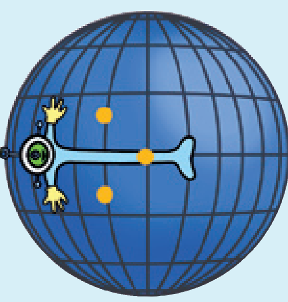
مد الذراعين نحو الخارج

تمتد الذراعان شمالا وجنوبا (تدل الكرتان البرتقاليتان على الموقعين حيث كانت الذراعان في البداية). والحركة المساوية والمضادة بالاتجاه تُبْقِي **الاندفاعَ (كمية الحركة)**[1] متوازنا.



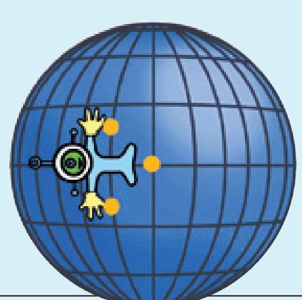
مد الذنب

يمتد الذنب الآن شرقا. وكي يتوازن الاندفاع، تتحرك الذراعان غربا. ونظرا لكون اليدين قرب قطبي الكرة، فإنهما تعبران خطوط طول عدة لتقطعا المسافة نفسها التي تقطعها النهاية الثقيلة للذيل، ويقطع «الكتفان» مسافة كبيرة غربا على طول خط الاستواء.



مد الذراعين نحو الداخل

تنسحب الذراعان على خطوط الطول (المكافئة لخطوط مستقيمة على الكرة). والآن يكون بُعْد اليدين عن النقطتين اللتين انطلقتا منهما غربا أكبر من بعد نهاية الذنب عن نقطة انطلاقه شرقا.



سَحْبُ الذنب

عندما يُسحب الذنب ثانية، تتحرك اليدان إلى الخلف باتجاه الشرق لموازنة الاندفاع. وتكون دورة الأفعال قد حركت السباح كله مسافة قصيرة باتجاه الغرب بسبب المسافة «الإضافية» التي قطعتها اليدان.

إذا جرت هذه الأفعال نفسها على سطح سرج – يتسم، كما هو معلوم، بانحناء (تقوس) سالب – فإنها تحرك السباح شرقا. انظر الموقع: http://physics.technion.ac.il/~avron للاطلاع على تحريكات كلا المثالين.

(*) PADDLING ACROSS A SPHERE
(1) momentum

[قم بها بنفسك]

اعتبره سبينا(*)

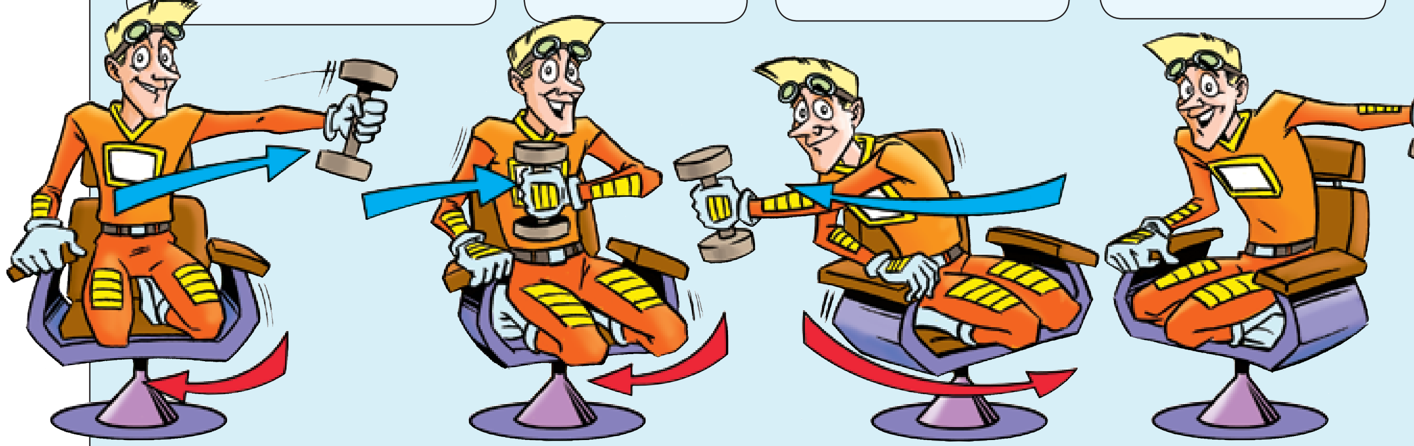
إن الزمكان قرب الأرض قريب جدا من كونه مسطحا، ومن ثم لا تستطيع «السباحة» عبره كي تغير موقعك. بيد أن بمقدورك تغيير توجيهك من دون الحاجة إلى قوة خارجية (وهذا يشبه كثيرا قيام قطة تهوي من عل بفتل جسمها لتهبط على الأرض واقفة على قوائمها)، وإليك طريقة لتجربة ذلك. لمشاهدة الفيديو انظر: www.ScientificAmerican.com.

1 اركع أو اجلس على كرسي دوار، يفضل ألا يكون من النوع الهزاز. أبعد ثقلا تحمله بأن تمد يدك بعيدا عن جسمك (سيزيد الثقل الأثر).

2 دوِّر الثقل حول جسمك إلى الجهة المقابلة، مبقيا ذراعيك ممدودتين طوال الوقت. وللحفاظ على **الاندفاع الزاوي**(1)، يجب أن يدور الكرسي (وأنت عليه) إلى الجهة المقابلة أيضا.

3 الآن، أعد الثقل إلى موقعه الابتدائي بحيث يكون مساره مارا، قدر الإمكان، عبر محور الكرسي.

4 يتحرك الكرسي باتجاه وضعه الابتدائي، ويُتمّ جزءا من الدورة التي قطعها بعد بدء دورانه، ولكن يجب أن تنتهي في وضع مختلف عن ذاك الذي انطلقت منه. إن إعادة هذه الحركة يمكن أن تؤدي إلى قيامك بدورة كاملة إذا كنت والكرسي متوازنين جيدا.



أكبر من متر واحد!

وعندما يسحب الغريب ذراعيه بموازاة طول الكرة، ينتهي به الأمر بحيث تكون يداه على مسافة أبعد من متر غربا. وحين يستعيد تشكيلته الأصلية بسحب ذنبه، يجد نفسه على خط الاستواء، إلا أنه يكون قد ابتعد عن موقعه الأصلي قليلا نحو الغرب!

وبتكرار متواصل لاستعماله تلك الحركات، يستطيع الغريب الزحف على طول خط الاستواء. أما طرف الذنب واليدان ذات الثقل غير المعتاد، فلا تشكل عوامل جوهرية للسباحة: إنما من الأسهل معرفة المسافة التي قطعتها حركة الذراعين استجابة لبسط الذنب إذا كان جميع الثقل مركزا في تلك النقاط الثلاث. وما يحدث هو أنه إذا كانت هذه الكائنات تعتمد في بقائها حية على السباحة في فضاء منحن، فربما تصنع كتلا ثقيلة في أطرافها تحسيناً لكفاءتها في السباحة. ومع ذلك، فإن كتلتين موضوعتين في المرفقين لن تساعدا على الوصول إلى تلك المسافة حول الكرة التي يمكن أن تصلها اليدان، ومن ثمّ لا تولّد حركة إضافية كبيرة للجسم.

صحيح إن الكرة سطح ذو بعدين فقط، ولكن المبادئ نفسها تنطبق على زمكان منحن رباعي الأبعاد. إذ يمكن لتغيرات تكرارية في تشكيلة منظومة أن تؤدي إلى انزياح هذه التشكيلة. أما السابح الذي اقترحه <ويزدم>، فهو **مِنْصب**(2) يمكن أن يتداخل بعضه ببعض. هذا ويمكن تقليص أرجله أو زيادة طولها، ويمكن أيضا توسيع أو تضييق الزوايا التي بينها. يسبح المِنْصب بمد قوائمه ونشرها وسحبها وضم بعضها إلى بعض، وكلما كَبُرَ انحناء الزمكان

«لا يمكنك تحسين وقفتك بنفسك من دون مساعدة من أحد، ولكن بمقدورك القيام بهذا التحسين بتحريك قدميك بطريقة إيقاعية.»

د. ويزدم>، [من المعهد MIT]

(*) TAKING IT FOR A SPIN
(1) angular momentum
(2) tripod: جهاز يقف على ثلاثة قوائم وتُركّب عليه عادة كاميرة أو أدوات هندسية. (التحرير)

[شذوذات أخرى]

إلى ما بعد نيوتن(*)

منذ عهد بعيد، تنبأت نظرية النسبية العامة بعدة نتائج ليس لها ما يماثلها في نظرية التثاقل النيوتني، إضافة إلى الظواهر الحديثة التي لم تُكتشف بعد في السباحة والانزلاق الزمكانيين.

النتيجة	مثال	التفسير	النظرية	الوضع
تمدد الزمن التثاقلي	سيدة تسافر قرب ثقب أسود؛ إنها تصبح أصغر سنًا من شقيقها التوأم الذي يظل مقيما على الأرض.	يمر الوقت ببطء أكثر في حقل تثاقلي قوي.	توصل إليها <A. آينشتاين> خلال أبحاثه التي تُوِّجَت بنظرية النسبية العامة.	تُستعمل في التقانة: فنظام تحديد المواقع العالمي[٣] يجب أن يسمح بتمدد الزمن التثاقلي لدى توقيت إشاراته ليحسب المواقع بدقة.
موجات تثاقلية	موجات ثقالية تنتشر من نظام نجم مضاعف بسرعة الضوء.	الموجات التثاقلية هي اهتزازات مسافرة لهندسة الزمكان، كما لو كان الزمكان نفسه خاضعا لذبذبات الانضغاط والتمدد.	من الواضح أن معادلات نظرية النسبية العامة تسمح وضوحا بوجود موجات، بيد أنه من الصعب القيام بتحليل دقيق لهذه الموجات.	لوحظ، بطريقة غير مباشرة، في سبعينات القرن المنصرم: إذ إن الدور المداري[٤] لنباض[٥] ونجم نتروني يكونان نظاما ثنائيا يُقصِّر الزمن كما لو كان متوقعا، وذلك بسبب إصدار الموجات التثاقلية. وتسعى تجربة LIGO، مع غيرها من التجارب، إلى الحصول على أرصاد مباشرة لتلك الموجات التثاقلية.
مفعول العالمين <J. لنس> و <H. ثيرينك>[١]	ساتل قرب الأرض يشعر بقوة تجذبه باتجاه دوران الأرض حول محورها.	مثل كرة تدوّم في مادة لزجة، وهي مادة تدور محوريا وتجر الزمكان ذاته بقدر ضئيل.	تنبأ بها <J. لنس> و<H. ثيرينك> عام 1918.	في الشهر 2009/2 أعلن الباحثون أن الساتل المسمى مجس الثقالة B[٦] كان منسجما مع التنبؤ، بارتياب تجريبي قدره 15 في المئة.
ثقوب دودية[٢]	طريق مختصرة افتراضية تصل بين منطقتين مختلفتين من الفضاء.	ثمة أنواع افتراضية غير عادية من الطاقة توفر زمكانا منحنيا سلبيا، وهذا مطلوب لتكوين بنية ذات ثقوب دودية.	نوقشت في وقت مبكر يعود إلى عام 1916؛ وقد بين الباحثون عام 1988 أن نظرية النسبية العامة تسمح بوجود ثقوب دودية يمكن اجتيازها.	مازال الأمر يتسم بنسبة عالية من التخمين؛ ويعتقد معظم الفيزيائيين أنه لن يعثر على هذه الثقوب البتة.

حيث يوجد المنْصب، اتسعت إزاحته بتأثير تتالي هذه الحركات.

أهي مخالفات حركية؟(**)

في الوهلة الأولى، قد يكون من المدهش معرفة أن إمكانية السباحة نتيجة مباشرة لقوانين الانحفاظ الأساسية، وليس انتهاكا لها. فالسباحة ممكنة في فضاء منحن بسبب عدم توفر تعريف غير مهم لمفهوم مركز الثقل. لنفترض أن لدينا ثلاث كرات وزن كل منها كيلوغرام واحد، وكل منها موضوع على أحد رؤوس مثلث متساوي الأضلاع. يقع مركز ثقلها في فضاء مسطح في المركز الهندسي للمثلث. ومع أنه يمكن حساب موقعه بطرائق مختلفة فأي طريقة منها تعطينا النتيجة نفسها. يمكنك مثلا إيجاد النقطة المتساوية المسافات عن الكرات الثلاث، أو يمكنك الاستعاضة عن كرتين منهما بكرة واحدة تزن كيلوغرامين موضوعة في منتصف المسافة بينهما، ومن ثم حساب مركز ثقل تلك الكرة مع الكرة الثالثة (النقطة الواقعة في ثلث المسافة على المستقيم الذي يصلها بالكرة الثالثة). وفي جميع الحالات تحصل على النتيجة نفسها. هذه الحقيقة الهندسية تنسحب إلى حقيقة عن دينامية المنظومة تنص على أنه لا يمكن أن يتسارع مركز ثقل منظومة معزولة.

ولكن مثل تلك الطرائق المختلفة للحسابات على سطح منحن قد لا تعطي النتيجة نفسها. لنتصور مثلثا رؤوسه ثلاث كرات متساوية

(*) BEYOND NEWTON
(**) Moving Violations?
(١) Lense - Thirring effect
(٢) wormholes
(٣) the Global Positioning System (GPS)
(٤) the orbital period
(٥) pulsar
(٦) the Gravity Probe B

وزنــا، وموضوعة في مدن جميعها قريبة من خط الاستواء، مثل سنغافورة ودكار وتاهيتي. تقع النقطة المتســاوية المسافات عن كل من الكــرات الثلاث قرب القطب الشــمالي. أما إذا اســتعيض عن الكرتين الموضوعتين في سنغافورة ودكار بكرة أثقل منهما ووضعت بينهما، ثم حُسِب الموقع على الدائرة العظمى الموجود على ثُلث المسافة من هذه الكرة إلى تلــك التي في تاهيتي لوجد أنه يقع قريبا من خط الاســتواء. لذا، فإن «مركزَ الكتلة» على ســطح منحنٍ غامضٌ. وتؤكــد هذه الحقيقة الهندسِّــية إمكانية حركة منظومة في فضاء منحن حتى حينما تكون المنظومة معزولة عن أي تأثيرات خارجية.

وتبرز أيضا مواضيع دقيقة أخرى. مثلا، تتضمن الواجبــات البيتية المتعارفة والمقررة لطلبة الفيزياء مسائل تتناول إيجاد المحصلة النهائية لجمع القوى المؤثرة في جسم. يعبر طلبة الفيزياء عن هذه القوى بمتجهات تُرسَم ممثلةً بأســهم. وتجرى عملية جمع متجهين بأن يُخْضع الســهم الممثل لأحدهما لعملية انســحاب إلى أن يصبح مبدؤه منطبقا على نهاية الســهم الممثل للمتجــه الآخر. أما في فضاء منحـــن، فهنالك مــأزق إذا اتُّبع هذا النهج التقليدي، إذ قد يتغير منحى متجه إذا طبقت عليه العملية السابقة. لذا، فإن الإجراء المتبع لحساب القوة الكلية المؤثرة في جسم فــي فضاء منحن أعقد كثيــرا، إذ يمكن أن يترتب عليها أمور غريبة كالسباحة مثلا.

ربما تبدو بعــض نتائج التثاقل النيوتني مشــابهة للوهلة الأولى للسباحة الزمكانية. فمثلا يمكن لرائد فضــاء عند دورانه حول الأرض تغييــر مســاره بأن يتمطــى طوليا ويتكور على هيئة كــرة في مراحل مختلفة. ولكن هــذه النتائــج النيوتنيــة مختلفة عن السباحة الزمكانية (في الزمكان)، فحدوثها ممكن بســبب أن الحقل التثاقلي يتغير من موقع إلى آخر. إضافــة إلى هذا، فإن على الرائــد توقيت حركاتــه تلــك، مثلما يفعل شخص على أرجوحة لتسريع تأرجحه. ومن ثم، فإنه لا يســتطيع تغيير مساره النيوتني بتكرار ســريع لحركات صغيرة جدا، ولكن رائد فضــاء في زمــكان منحن يســتطيع السباحة بهذه الطريقة نفسها.

إن إمكانية الســباحة الزمكانية لم تسترع إليها انتبــاه أحد مدة تقارب تســعين عاما، وهذا يذكرنا بنظريات آينشتاين التي مازالت غير مفهومة تمام الفهم. ومع أن من المستبعد إنشاء صاروخ سابح، في أي وقت قريب، ولكن الفيزيائــي ‹F. ويلتزك› [الحاصل على جائزة نوبل، والذي هو أيضا من المعهد MIT] أشار إلى أن نتائج أبحاث ‹ويزدم› تثير تســاؤلات بالغة العمق حول طبيعة المكان والزمان.

وبوجه خاص، فإن لاكتشــافات ‹ويزدم› صلة بتســاؤل قديم العهد ومثير للجدل هو: هل الفضاء جسم مادي (وهو موقف فلسفي يسمى **المادّوية**(٣))، أم إنه مجرد أداة مفاهيمية ملائمة للتعبير عن العلاقات بين الأجسام (وهو موقف فلسفي آخر يسمى **العلائقية**(٤)).

وبغيــة توضيــح وجهتي النظــر هاتين، لنتصور السيد ‹إيڤرارد› وهو يعوم في كون خال تماما. ليســت هنالك نجوم ولا مجرات يهتــدي بها كنقاط مرجعيــة لتقدير حركته. وفي عام 1893، حــاجّ ‹E. ماخ› [الفيزيائي والفيلســوف ذو النزعة العلائقيــة] في أن مفهــوم الحركة في ذلــك الموقف يغدو عديم المعنــى. ومع أن فضاء خاليا تماما قد يكون منحنيا، فإنه يتيح للســيد ‹إيڤرارد› القدرة على السباحة خلاله.

يبدو إذن، أن الزمكان يعمل بمنزلة مائع يســند إليه تعريــف حركة جســم معزول. وامتلاك الفضاء الخالي تماما بنية هندسية واضحــة يقدم دعما آخــر لمصلحة المادوية. ومــع ذلك، وفــي الوقت نفســه، فالمادة (أو أي شــكل آخر للطاقة) هي التي تضفي إلى

(١) the State University of Campinas

(٢) dynamical systems

(٣) Substantivalism: نزعة فلســفية تدعــو إلى إضفاء وجود مادي إلى الأشياء.

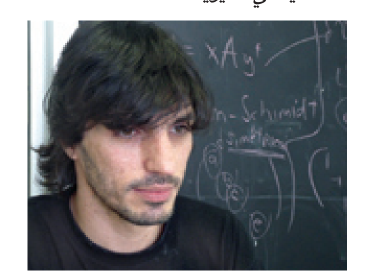
(٤) relationalism: نزعة فلسفية تركز على العلاقة بين الأشياء، لا على الأشياء ذاتها.

انظر: "*A Hole at the Heart of Physics*," by George Musser; *Scientific American*, September 2002 (التحرير)

المؤلف

Eduardo Guéron

*أستاذ مشارك في الرياضيات التطبيقية بجامعة Federal University of ABC في البرازيل (تقع المنطقة «ABC Region» على حدود مدينة سان باولو). حصل ‹گيرون› على الدكتوراه من **جامعة كامپيناس الحكومية**(١) بالبرازيل عام 2001، وكان أستاذا زائرا في المعهد MIT من عام 2003 إلى عام 2004. وهو يدرس التثاقل و**النظم الدينامية**(٢) ومسائل أساسية في الفيزياء العامة.*



الفضاء مـــا يمتلكه من بنية هندســـية، لذا، فالزمكان ليس مســـتقلا عن محتوياته، وهي نقطة في مصلحة العلائقية. إن هذه المناظرة، التي تبرز في المحاولات لإنشاء نظرية موحدة للفيزياء، مازالت من دون حل.

على أجنحة الزمن(*)

جلس الســـيد ‹إيڤــرارد› – بعد الجهد المرهـــق الـــذي بذله فـــي الســـباحة للعودة إلـــى مركبته الفضائية – كـــي يرتاح داخل قمرتـــه تاركا مهمة التخطيـــط لطريق العودة إلى الأرض **للطيار الآلـــي**(1). وفجـأة انطلق الإنذار وأخذت الأضـــواء الحمراء بالتوهج، وهذا يشير إلى أن المركبة كانت تسقط على كوكب كبير الكتلة. ابتهج الســـيد ‹إيڤرارد› بهذه الفرصة التي تتيح له اكتشافات جديدة ومثيرة، ولكن الهبوط على هذا الكوكب يمثل تحديا، إذ لم يكن في المركبة ســـوى قليل من الوقـــود لا يكفي لهبـــوط معتمد على الطاقة، ثم إن الكوكب خـــال من غلاف جوي، وهذا يجعل مظلة الهبوط عديمة النفع.

لحسن الحظ، تذكّر ‹إيڤرارد› بحثا كتبته سنة 2007 بالاشتراك مع زميلي ‹A.R. موسنا› [المختص بالفيزيـــاء الرياضياتية من جامعة ولاية كامپيناس فـــي البرازيل]. توصلنا في بحثنا هذا – بإلهام من مثال ‹ويزدم› – إلى طريقة أخرى لاســـتغلال النسبية العامة في التحكم في الحركة. يدل تحليلنا على إمكانية جسم إبطاءَ هبوطه نحو كوكب، مثلا، بتكرار حركات مد وتقليص بأسلوب لاتناظري – أي إن حركة المد أسرع من حركة التقليص. فإذا جهزت مركبة بجهاز يعمل بذلك الأســـلوب، فإنها تنســـاب مثل طائرة شراعية حتى في حالة انعدام الهواء.

في هذه الحالة، توجد صلة لهذه النتيجة بالصفات الزمانية، لا المكانية، للحركة. وتسلط هـــذه الصلة الأضواء علـــى واحد من أعمق جوانب نظريات آينشـــتاين، ألا وهو الارتباط بين المكان والزمـــان. ففي الميكانيك النيوتني يعين الفيزيائيون الحوادث باســـتعمال ثلاثة إحداثيات لتمثيل مـــكان وقوعها، وإحداثي واحد لتمثيل زمن حدوثها. ولكن يبقى عندهم مفهوما المكان والزمان أحدهما مســـتقل عن الآخر. أما في النسبية الخاصة، فالمفهومان متشـــابكان تماما؛ إذ إن راصديْن متحركيْن بســـرعتين مختلفتـــين ربمـــا لا يتفقان على قياساتهما للمســـافة بين الحادثين ولا على وقـــت حدوثهما، لكنهما يتفقـــان على وجود رابطة ما بـــين المكان والزمـــان. ومع أنهما يعدانً الزمـــان والمكان منفصلين ومختلفين، فإنهما يريان الزمكان نفسه.

أما فـــي النســـبية العامة، فتغـــدو بُنية الزمكان مشوهة (منحنية). ومن نتائج البنية المنحنية قوة الثقالة التي تشعر بها حواسنا. وفي حـــين تتضمن الثقالـــة النيوتنية المكان فقط، فـــإن **الثقالـــة النســـبوية** relativistic gravity تتضمن الزمان أيضا. ويؤدي تشوه كل مـــن المكان والزمان إلـــى نتائج مثل تلك المسماة **جَرّاً هيكليا**(2)، أي إن كل جسم يدور حول نفسه (كالأرض مثلا) يؤثر بقوة ضئيلة باتجاه دورانه في الأجسام الأخرى المجاورة (كالســـواتل التي تدور حـــول الأرض، على سبيل المثال). وبعبارة تعوزها الدقة نقول إن **الأرض الدوامة**(3) تجر معها الزمكان نفســـه بقدر ضئيل. وبوجه أعم، فإن ســـرعة حركة كتلة تؤثـــر في الحقل التثاقلـــي الذي تولده الحركـــة. والجر الهيكلي والانســـياب (مثل حركة الطائرة الشـــراعية) كلاهما مثال على هذه الظاهرة.

ويحدث أثر الســـباحة نتيجة للهندســـة اللاإقليدية، أما الانســـياب النســـبوي فهو نتيجة لكـــون المـــكان والزمان غيـــر قابلين للانفصـــال أحدهمـــا عن الآخـــر. وقد تظل ظواهر أخرى على شـــاكِلتها بحاجة إلى أن تدرك وتفهـــم عندما تحلُّ المعـــادلات المهمة لنظرية النسبية العامة. ومن المؤكد أن للسيد ‹إيڤرارد› ولطلبة آخرين مزيدا من المغامرات التي يتعين عليهم القيام بها. ■

(*) On the Wings of Time
(1) autopilot
(2) frame dragging
(3) spinning Earth

مراجع للاستزادة

Space, Time, and Gravity: The Theory of the Big Bang and Black Holes. Robert M. Wald. University of Chicago Press, 1992.

Swimming in Spacetime: Motion in Space by Cyclic Changes in Body Shape. Jack Wisdom in *Science*, Vol. 299, pages 1865–1869; March 21, 2003.

Swimming versus Swinging Effects in Spacetime. Eduardo Guéron, Clóvis A. S. Maia and George E. A. Matsas in *Physical Review D*, Vol. 73, No. 2; January 25, 2006.

Relativistic Glider. Eduardo Guéron and Ricardo A. Mosna in *Physical Review D*, Vol. 75, No. 8; April 16, 2007.

Scientific American, August 2009

أموال حقيقية من عوالم افتراضية(*)

ألعاب حاسوبية من صنع الخيال متاحة (على الخط)[١]، تُمكِّن أربابَ الأعمال في العالَم النامي من كسب عيشهم عن طريق مقايضة خَوابٍ من الذهب الوهمي مقابل أموال نقدية.

<R. هيكس>

مفاهيم مفتاحية

- ظهرَ نوع جديد من الخدمة الحاسوبية يلبِّي احتياجات الملايين ممَّن يمارسون ألعابا خياليَّة على الإنترنت، من قبيل اللعبة «عالَم صناعة الحرب» World of Warcraft.
- يَجمع اللاعبون، الذين يُطلق عليهم اسم «مزارعو الذهب»، أموالا وهميَّة يقايضونها لاعبِينَ آخرين مقابل أجر ماديّ.
- تنطوي هذه اللُّعبة المثيرةُ للجدل على انتهاك لقواعد اللَّعب المتعارَفة، غير أنها أضحت وسيلة لمئات آلاف اللاعبين في العالَم النامي لكسب أجور تضاهي أجورَ عمّال المصانع.

محرّرو ساينتفيك أمريكان

يبدو الأمرُ وكأنه سؤال رَقْميّ **لخيميائي**[٢] alchemist: كيـف تحوِّلُ ذهبا افتراضيّا إلى ذهب حقيقي؟ سـؤال وَجَـدَ له مئاتُ الآلاف من «**مزارعي الذهب**»[٣] في البلدان النامية جوابا يعود عليهم بالربح الجزيل؛ فأصبحوا أربابَ أعمال يكسبون عيشهم عن طريق أرباح يجنونها من ألعاب حاسوبية مباشرة على الخط. وبقيامهم بأدوار خيالية في هذه الألعاب، كقتل وحوش أو التنقيب عن **الرِّكاز**[٤] أو الانخراط في أعمال أخرى، يحصِّلون منها «ذهبا افتراضيّا»، ومن ثَمَّ يعمدون إلى بيعه للاعبين آخرين، ربما من دول غنيَّة، مقابل مبالغَ نقدية حقيقية. ومع ما في هذا من خرق لقواعد القبول والمعايير المتعارَفة، فإن المتعاطين بهذه المبالغ الوهمية - بائعينَ ومشترين - يستعملون الذهبَ لتقرير مصير شخص في هذه الألعاب الخيالية.

وهكذا يستطيع «مزارع ذهب» في الصين، يمارس هذه الألعابَ ويبيع العملة الافتراضية، كسبَ أجر يعادل، بل يتجاوز أحيانا، ما يتقاضاه من تجميع قِطَع الدُّمى في مصنع مقابلَ عملِ 12 ساعة يوميّا. فاستتبع ذلك بزوغ هذه الظاهرة في السنوات العشر الماضية باعتبارها أسلوبا بارعا (مع كونه مثيرا للجدل) يتيح للدول الفقيرة كسبَ المال من تقانتَي المعلومات والاتصالات، وللعمّال الفقراء بناءَ مهارات رقمية قد تُنقَل فيما بعدُ إلى فعاليات أخرى من التقانة المعلوماتية لا تَمتُّ إلى الألعاب بصِلَة.

وفي غضون بِضع سنوات فقط غدت «زراعة الذهب» عملا ضخما. وتشير أفضلُ التقديرات إلى أن آسيا، ولاسيما الصين حيث يقيم معظمُ مزارعي الذهب، تَستخدِم أكثر من 400 000 لاعب يقضون أيامَهم في جمع «الذهب». وقد يبلغ مجملُ قيمة التجارة بالذهب الافتراضيِ بليون دولار على الأقل، علما بأن ما لا يقلّ عن 10 ملايين لاعب في شتى أنحاء العالَم يقومون بشراء «الذهب» أو الخدمات من مزارعين يساعدونهم على الاستمرار بممارسة اللعبة.

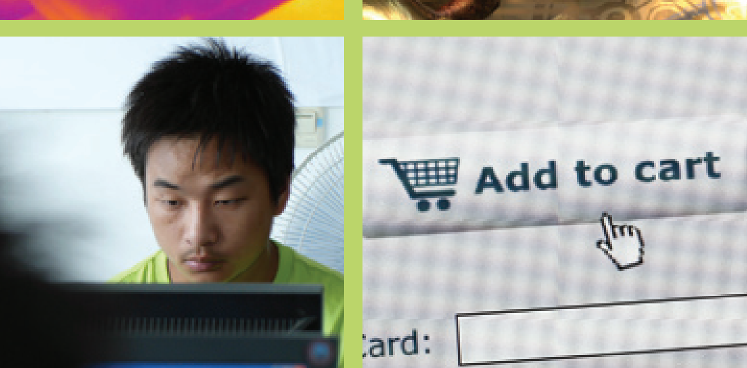
وفي حين كانت زراعة الذهب في الماضي أمرا شبه محجوب عمَّن لا يمارسون الألعابَ الحاسوبية، فقد باتت اليوم محطَّ اهتمام خبراء الاقتصاد وعلم الاجتماع، باعتباره صلةَ وصل يتقاطع عندها الغنيُّ مع الفقير، والحقيقيُّ مع الافتراضي. وقد أظهرَ الأكاديميون ووسائل الإعلام الجماهيرية في السنوات القليلة الماضية افتتانا بدينامية الألعاب التي تمثِّل عوالِمَ صغيرة تتحرَّك بسرعة كبيرة - إذ تتغيَّر سيرورةُ اللاعبين، أفرادا ومجموعات، صعودا وهبوطا في غضون أيام أو أسابيع، وليس على مدى عقود أو قرون تمثل فسحة عُمر إنسان أو مجتمع بكامله. وأراني شخصيّا أصبحتُ مغرما بزراعة الذهب بعد أن قابلتُ - عَرَضا - تجّارَ ذهب افتراضيِّين

(*) REAL MONEY FROM VIRTUAL WORLDS
(١) online fantasy games
(٢) لمشتغل بالكيمياء القديمة التي زُعِمَ أنها تحوِّل المعادنَ الخسيسةَ إلى ذهب.
(٣) gold farmers
(٤) ما تحتويه الأرض من المعادن في حالتها الطبيعية. (التحرير)







في أثناء ممارستي ألعابا حاسوبية خيالية على الإنترنت. وانتهت بي صلةُ هذه التجربة بمجال خبرتي في التنمية الدولية إلى منحى جديد من البحث، هو استكشاف الجوانب الاجتماعية والاقتصادية لتجارة الذهب هذه.

كيف تعمل المنظومة(*)

تقع صناعةُ زراعة الذهب أساسا على أطراف عالَم الألعاب الحاسوبية التي تُعرَف اختصارا باسم MMORPGs[1] (يقوم فيها عدد كبير من اللاعبين بأدوار على الخط) مثل اللعبة World of Warcraft واللعبة EverQuest II. ومن شأن هذه الألعاب لا أن تخلُقَ للاعبيها على الشاشة عالَما افتراضيّا - يضمُّ منازلَ ومشاهدَ طبيعية وشخصيات خيالية (كالأقزام والعفاريت) - فحسب، بَلْ لها أيضا نظام اقتصادي افتراضي.

وبإمكان الذهب الوهمي الذي يحصِّله اللاعبون أن يشتريَ الدروعَ والأسلحة، والغذاءَ والدواء، أو أن يتَّخذَ حصانا أكبر سرعة، أو مركبة فضائية أرقى تجهيزا، وذلك تبعا للبيئة التخيُّلية الخاصة باللعبة. ويستطيع اللاعبون، بقتلهم الخصوم (من الوحوش وغيرها) وتنقيبهم عن الرِّكاز وقطعهم الأخشاب وغير ذلك، أن ينمُّوا مخزونَهم الخاص من الذهب. وكما في العالَم الواقعي، فإن جمعَ الثروة قد يكون عمليَّة مملَّة طويلة ربما تستغرق أسابيع أو شهورا، ومن ثمَّ فقد عَمَدَ بعضُ اللاعبين

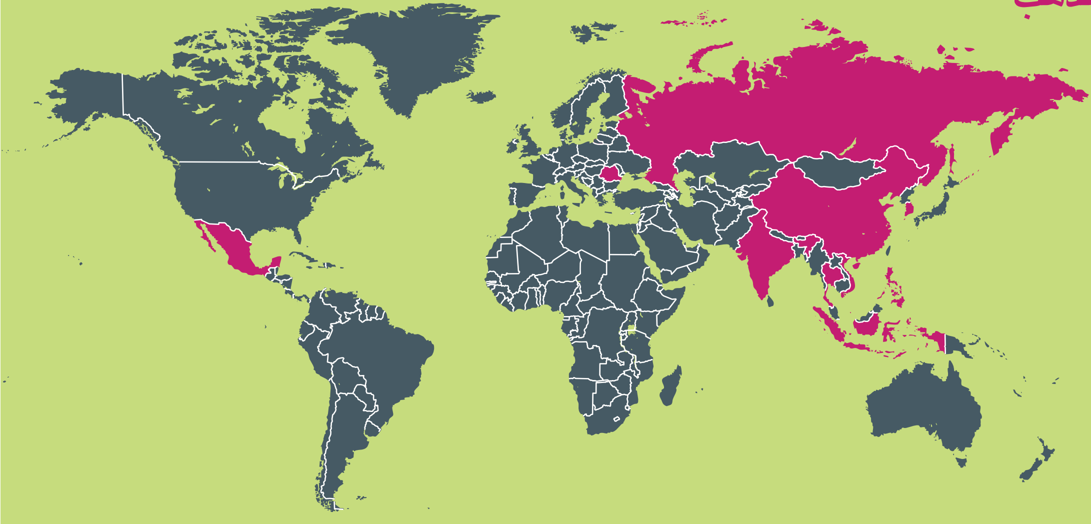
(*) How It Works

(1) massively multiplayer online role-playing games، لُعب حاسوبية يأخذ فيها المشاركون أدوارَ شخصياتٍ يتفاعل بعضُها مع بعض. وغالبا ما تكون مواضيعُ هذه اللُّعَب من النوع الخيالي أو الخيال العلمي، ولها قواعد يتعيَّن على جميع اللاعبين اتباعُها. (التحرير)

«اللاعبون الكادحون» لقب يُطلَق على أولئك الذين يُثرون عن طريق جمع «ذهب» يُستعمل لشراء أسلحة وغيرها في ألعاب حاسوبية تمارَس على الخط، يَفِدون عادة من آسيا ويُعَدُّون بمئات الآلاف.

المعالِم الجغرافية لزراعة الذهب(*)

لقد برزت الدولُ النامية، ولاسيما الصين، مَواطنَ نَشطة «لمزارعي الذهب» (*اللون الزهري*) الذين يقايضون سلعا افتراضية جُمعت من ممارسة ألعاب حاسوبية على الخط مقابل نقد حقيقي. وغالبا ما تتخصَّص شركاتُ المقايضة - ومقارها بشكل عام في المدن - بحصر فعالياتها في الأسواق المحلية أو الإقليمية أو العالمية. بدأت الصناعةُ الصينيةُ بعرض خدمات رخيصة للسوق الكورية، ولكنها سرعان ما توسَّعت لتصبح عالمية النطاق. وما زال عدد من البلدان - ومنها الهند، المعروفة بمؤسساتها التجارية العاملة بوساطة مراكز التنسيق الهاتفي - مقتصرا على خدمة السوق المحلية فقط.



50 مليونا
عدد الممارسين للألعاب الحاسوبية على الخط حول العالم (منهم 20 مليون لاعب باكتتاب).

من مئة ألف إلى مليون
هو العدد التقديري «لمزارعي الذهب».

150 دولارا
متوسط الراتب الشهري لمزارع الذهب في الصين.

4 دولارات
متوسط أجر العمل بالقطعة عن كل 1000 وحدة من «الذهب» المتحصّل في اللعبة Warcraft.

يتراوح ما بين 60 000 و100 000
عدد «مزارع الذهب» في العالم.

الأثرياء فعلا في عالَم الواقع إلى خيار آخر كثيرا ما يتبعه الناسُ عند اضطرارهم إلى تنظيف منازلهم أو غسل سياراتهم، ويتمثَّل باستخدامهم مزارعي الذهب - بدلا من خَدَم المنازل - لأداء أعمالهم غير المستحبَّة.

أما وقد ادَّخرَ «المزارعون» العملةَ، فقد صاروا الآن مهيَّئين لبيع هذه الثروة الافتراضية مقابل مبالغ مالية حقيقية، على واحد من آلاف مواقع وب التي تسوِّق البضائعَ الافتراضية لاستعمالها في الألعاب الحاسوبية. وتُبرَم الصفقةُ عادة عن طريق الخدمة PayPal أو غيرها من الخدمات التي تقوم بتحويل المدفوعات مباشرة إلى شركات زراعة الذهب. وقد يصل الأمرُ إلى شراء نقد أجنبي في عالَم افتراضي. ففي اللُّعبة World of Warcraft، الأكثر رواجا حاليًا، تُباع 1000 وحدة ذهبية مقابل نحو 10 دولارات، أي بما يعادل سعر صرف يساوي تقريبا ينا يابانيا واحدا في مقابل دولار.

وما أن يتمَّ تسديد المبلغ الحقيقي يلتقي الشاري والبائع في مكان محدَّد في عالَم الخيال، حيث يسلِّم المزارعُ العملةَ المفترَضة إلى الشاري. ومع أن «المزارعين» يكسبون معظم ثرواتهم عن طريق بيع الذهب، فإن بوسعهم أيضا الانخراط في عملية «رَوْز مستوى القدرة»[1]، فينتحلون شخصيةَ الزبون ذي المستوى المنخفض (الضعيف، القليل البراعة)، ويرتقون بها إلى مستويات عالية من الصحة والقوة والبراعة. فعلى سبيل المثال، يكلِّف الارتقاءُ من المستوى 1 إلى المستوى 50 في اللعبة Lord of the Rings Online نحو 150 دولارا. وفي بعض الأحيان لا يتقمَّص المزارعون شخصيةَ الزبون، بل يؤدُّون بدلا من ذلك دورَ المُرافق الذي يلازم اللاعبين في تجاوز مهامَّ تنطوي على صعوبة أو غَرَر، كَمَن يستأجر شيرپيّا[2] لبلوغ ذُرا جبال الهيمالايا.

ما قبل تاريخ الزراعة الافتراضية(**)

إن إيرادات الاتِّجار بالذهب الافتراضي ربما تعادل نصفَ العوائد التي تجنيها شركاتُ الألعاب نفسُها من اشتراكات اللاعبين، التي تؤلِّف نفقات اللاعب الأوَّلية. أما كيف توصَّلنا إلى هذه النقطة، فقد اكتشفتُ - في سياق دراساتي - أن صناعة زراعة الذهب قد تطوَّرت على نحو يشبه كثيرا تطوُّرَ المنظومات الاقتصادية في عالَم الواقع: بدءا من المقايضة وانتهاء بتكوين وب معقَّدة للتجارة العالمية.

كانت اللعبة (MUD)[3]، التي أطلقتها جامعةُ إيسيكس بإنكلترا سنة 1978، أولى ألعاب المجموعة MMORPG. وإذ تُعَدُّ هذه اللعبةُ عموما رائدةَ الألعاب الحاسوبية الحديثة جميعا، فقد أتاحت - بنموذجها

(*) A Geography of Gold Farming
(**) Prehistory of Virtual Agriculture
(1) power-leveling؛ اختبار أو فحص مستوى القدرة.
(2) Sherpa: أحد أفراد الشعب التيبيتي، ويتميَّز بحذقه في تسلُّق الجبال وإرشاد المتسلِّقين.
(3) Multi-User Dungeon (التحرير)

الأصلي وتفرُّعاتها الأولى – لكثير من اللاعبين الاجتماعَ في عالَم على الإنترنت، وإن كان عالمًا يوفر المعلومات عن الأشخاص واللاعبين والأشياء في سياق النصّ فقط. أما في نظام التطوُّر الاقتصادي، فإن لاعبي MUD هم في مرتبة المشتغلين **بزراعة الكفاف**[1] في **المجتمع ما قبل الصناعي** preindustrial society؛ حيث يُنتِج اللاعبون لأنفسهم فقط ويستهلكون ما ينتجون.

وكما هو الحال في مجتمع نموذجيّ لزراعة الكفاف، فقد بدأت المقايضة مقابل مفردات وهمية ذات قيمة. فلو أنني جئتُ مثلا بقلادة من الكهرمان زائدة، وكان في حوزتك سيف فائض، لكان بإمكاننا التبادل فيما بيننا. (بل يقال أيضا إن الذكور من اللاعبين كانوا يقدِّمون قِطَعا نادرة للاّعبات، على أمل – رُبّما لا يتحقق – باستجابة عاطفية أو ماديّة.) وتطوَّرت المقايضةُ حتى بدأت تشمل تبادُل قطع وهمية من الذهب، ثم إنها حققت في مرحلة ما من ثمانينات القرن الماضي قفزة نوعية من عُملة اعتبارية إلى عملة حقيقية؛ فانبرى اللاعبون لتقديم نقد حقيقيّ مقابل أشياء غير ملموسة. ويُعبَّر عن ذلك، باستعمال المصطلحات الاقتصادية، بأن السِّلَع الافتراضية أصبحت ذاتَ قيمة مالية قانونية. وبالفعل غدا مصطلحُ **«الاتِّجار بالأموال الحقيقية»** (RMT)[2] يعني اليوم الاستعاضة عن النقد الحقيقي بأموال ومفردات وخدْمات افتراضية.

استمرَّ الاتِّجارُ بالأموال الحقيقية على مدى الثمانينات والتسعينات من القرن العشرين، حيث بات من الممكن تسمية لاعبي تلك الحقبة **«بَساتِنة أسواق الذهب»** gold-market gardeners، إذ إنهم توسَّعوا في مجال المقايضة، فراحوا يبيعون ذهبا افتراضيّا كنشاط إضافيّ لهم، بما يشبه عاملا في مصنع يقضي جزءا من وقت فراغه في فلاحة حديقة للخضراوات في الفناء الخلفي لمنزله، ويبيع محصوله لكسب بعض المال الإضافي. وفي حين ما زال أولئك اللاعبون يركِّزون على الجوانب الترفيهية من اللعبة في المقام الأول، فإن الممارسين لها جزئيّا،



ظروف العمل المتَّسمة بالاكتظاظ وضيق المكان تميِّز الكثيرَ من مؤسسات زراعة الذهب، حتى إن بعضها يطبِّق على العاملين إجراءات شكلية كاستعمال ميقاتية الدوام والبطاقات المثقَّبة لتسجيل ساعات دوام العاملين الطويل على لوحة المفاتيح.

ممَّن يحصِّلون بعضَ المال عن طريق بيع أشياء إضافية، ما زالوا موجودين اليوم في **مقاهي الإنترنت السَّيْبَرِيَّة** cybercafes في الهند وإندونيسيا.

وفي عام 1997 وقعت حادثتان كان من شأنهما نقل هذا الركود الاقتصادي إلى المرحلة التالية من التطوُّر الصناعي الافتراضي: أُولاهما إطلاق اللعبة الحاسوبية Ultima Online، التي أصبحت بحقّ اللعبةَ الحاسوبية المباشِرة المبتكَرة التي تحظى بإقبال جماهيريّ واسع؛ وثانيتهما انطلاق الموقع eBay، موفرا طريقة للتبادل رخيصَة التكلفة. وقد أدرك بساتنة أسواق الذهب شيئا فشيئا أنَّ في وسعهم إصابة أموال أجزى بكثير من مجرَّد مبالغ نثرية تُحْرَز بين الحين والآخر، ومن ثم أخذوا يتخصَّصون باستحواذ موادَّ ونقود افتراضية يمكنهم بيعُها، مركِّزين حصرا على لعبة تَخَصُّصهم، بل ومتخلِّين في بعض الحالات عن أشغالهم الأخرى، تفرُّغا لتحصيل الذهب الافتراضي. وبذلك أصبح هؤلاء اللاعبون، الذين يغلب وجودُهم في البلدان الغربية بخاصة، هم روَّاد متعهِّدي الذهب الحقيقيِّين. وكانوا في ذلك مكافئين لحِرَفيٍّ حاذق، أو لنموذج إنتاج في صناعة الأكواخ. فكلَّما انطلقت لعبة جديدة على الخط، كانت العملةُ والأسلحة، أو سوى ذلك من الكيانات، متاحة للبيع على الموقع eBay في غضون بضعة أسابيع.

(١) subsistence farming، التي تفي فقط بمعيشة المزارعين.
(٢) real-money trading

من 200 مليون إلى 3 بلايين دولار

إجمالي المبلغ التقديري للأموال الحقيقية المعروضة للمقايضة في العالم («زراعة الذهب» وغيرها من السلع والخدمات الافتراضية غير المرخَّصة على الخط).

400 دولار

تكلفة رَوْز (تقدير) مستوى القدرة (للوصول إلى المستوى 75 في اللعبة الحاسوبية Final Fantasy XI).

1.3 مليون دولار

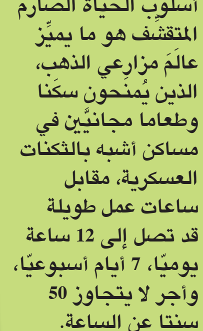
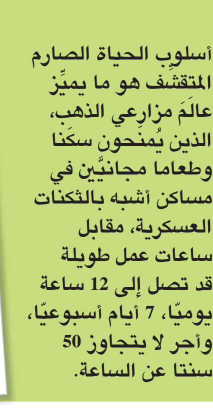
هو أعلى مبلغ جَمَعَه مُزارع ذهب على مدى سنتين.

13.50 دولار

سعر الصرف (دولارات مقابل ذهب افتراضي) لـ5 ملايين قطعة ذهبية في اللعبة الحاسوبية RuneScape.

من 4 ملايين إلى 12 مليونا

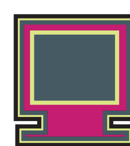
العدد التقديري لزبائن خدمات زراعة الذهب.

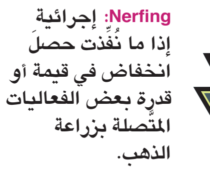
أسلوب الحياة الصارم المتقشف هو ما يميِّز عالَمَ مزارعي الذهب، الذين يُمنحون سكنًا وطعاما مجانيَّين في مساكن أشبه بالثكنات العسكرية، مقابل ساعات عمل طويلة قد تصل إلى 12 ساعة يوميًا، 7 أيام أسبوعيًا، وأجر لا يتجاوز 50 سنتا عن الساعة.

مصطلحات عالَم زراعة الذهب(*)

تولِّد الحقائقُ البديلة المعقَّدة للألعاب الحاسوبية المباشرة (على الخط) لغة اصطلاحية متداخلة خاصة بها. والأمثلة التالية تصف عمليات تتَّصل «بزراعة الذهب».



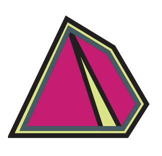
Botting: نَشْر شخوص افتراضية مؤتمتة تسمى «bots»، تتصرَّف تلقائيًا كما لو كانت مسيَّرة بتحكم بشري.



Nerfing: إجرائية إذا ما نُفِّذت حصل انخفاض في قيمة أو قدرة بعض الفعاليات المتَّصلة بزراعة الذهب.



Ninja looting: اقتناص الموارد على نحو يخرق قواعد الروح الرياضية الصالحة، كانتزاع غنيمة («loot») من وحش مقتول قبل أن تبتَّ مجموعة اللاعبين بطريقة توزيعها.



Spawn camping: قناة تنقيب لمورد مأمول، تتجدَّد تلقائيًا بعد فترة مقدَّرة سلفا. ويُتَّهم مزارعو الذهب أحيانا بالتربُّص للاستيلاء على المورد المتجدِّد.

وشَهِدَ عام 1997 أيضا أزمةَ النقد الآسيوي، التي أرست أساسَ صناعة زراعة الذهب الحالية. وسعت الحكوماتُ الآسيويةُ إلى الخروج من الأزمة بالاستثمار على نطاق واسع في تقانتَي المعلومات والاتصالات. فأنشأ بعضُ العاطلين عن العمل محلّات تجارية جديدة، كأكشاك البيع العمومية وغيرها، لتأجير حواسيب شخصية لممارسة الألعاب عليها. وأسهمَ ذلك في تنمية ثقافة راسخة للألعاب الحاسوبية في شرق آسيا.

العصر الذهبي لزراعة الذهب(**)

وبحلول عام 2001 كان بعضُ أربابِ الأعمال الأمريكيين في زراعة الذهب قد بدؤوا باجتذاب أصدقائهم أو حتى باستئجار أيد عاملة لكسب المال من هذه التجارة الجديدة. وتطلَّع نَفَر منهم – ولاسيما مَنْ لهم صلات أُسَريَّة خارجية – إلى بلدان تكون فيها التكاليف قليلة نسبيا، كأمريكا اللاتينية وآسيا. وفي الوقت نفسه، بدأ الكوريون الجنوبيون بتحويل مقاهي الإنترنت عندهم إلى مؤسسات لزراعة الذهب عن طريق اللعبة الخيالية المسمَّاة Lineage، التي تعود إلى القرون الوسطى، وهي أول لعبة من مجموعة الألعاب الحاسوبية MMORPG لا تنتمي إلى دولة غربية. وما لبث التُّجارُ أن أخذوا يبيعون العملة الافتراضيةَ – وتُدعى أدينا adena – إلى لاعبين آخرين.

ومع تنامي شركات زراعة الذهب في الولايات المتحدة وآسيا، فقد راحت تسير على خُطى الشركة Walmart وغيرها من الشركات، فعُنِيَت بخفض النفقات عن طريق استقدام يد عاملة خارجية لأداء أعمال التزويد الأساسية فيها. واتَّجهت بطبيعة الحال إلى شرق آسيا، بمنظومتها من اليد العاملة الرخيصة الماهرة القابلة لاكتساب الدُّرْبة سريعا، وببنيتها التحتية الواسعة والمتنامية. وبرزت الصين بنوع خاص كأكثر البلدان جاذبية، بالنظر إلى حجم ومهارة القوة العاملة فيها، مما جعلها مَحَطَّ الأنظار لزراعة الذهب. وفي عام 2004 أصابَ مزارعو الذهب نجاحا كبيرا وأرباحا مجزية مع انطلاق اللعبة الحاسوبية World of Warcraft، التي أضحت أكثر ألعاب المجموعة MMORPG نجاحا وأوسعها انتشارا على الإطلاق. وبحلول عام 2010 قُدِّرَ عددُ المكتتبين الذين تقمَّصوا دورَ إحدى الشخصيات وانخرطوا في مغامرات عالَم الخيال المسمّى عالَم أزيروث Azeroth بـ11 مليونا.

وتَنْزع أكبرُ مَزَارِع الذهب اليوم إلى صفة التخصُّص أكثر فأكثر، تماما كما هو حال الزراعة والصناعة في أيِّ مجتمع صناعيٍّ متطوِّر. فكثيرا ما يتَّخذ عدةُ لاعبين لدى شركة زراعة الذهب أدوارا مختلفة ضمن إطار لعبةَ معيَّنة: فقد يتولى الصيّادون مهمةَ اقتفاء الوحوش وقتْلها، وربما يقوم العاملون في المصارف بخَزْن الأصول ونَقْلها من مكان إلى آخر، في حين يروِّج «الأدلّاء» خدمات زراعة الذهب للاعبين الآخرين. ويلاحَظ، إضافة إلى ذلك، أن تجّارا مستقلّين بدؤوا يستغلون خدمات

(*) FARMER-SPEAK
(**) The Golden Age of Gold Farming



مزارعي الذهب للإثراء من دون أن يمارسوا في الواقع لعبة واحدة بأنفسهم؛ فهم يبيعون ويشترون شخصيات أو أدوات خيالية كما لو كانت صكوكا ومستندات مالية في سوق وول ستريت (سوق المال في نيويورك). من ذلك مثلا أن يشتري تاجر حسابا يعود إلى شخصية ما، ثم يسخِّر خدماتِ أحد مزارعي الذهب لاستثماره ورفعه إلى مستوى أعلى، ويبيعه بعد ذلك إلى لاعب آخر مقابل ربح مادّي.

في أواسط العَقد الأول من القرن الحالي، أخذت تتشكل أزمة في زراعة الذهب، إلى جانب الإسكان الشامل والفقاعة المالية. فقد كانت الشركةُ (IGE)[1] الكبرى (للألعاب الترفيهية على الإنترنت)، التي تعمل وسيطا بين مزارعي الذهب في الصين واللاعبين في الغرب، تحقِّق أرباحا شهرية تقع ما بين 10 و 20 مليون دولار، وتوفر لكبار موظفيها رواتب بملايين الدولارات. وقد تمكن مزارع ذهب صينيّ من جمع مبلغ 1.3 مليون دولار في غضون سنتين فقط. كذلك بِيعت بعضُ النثريات إفراديّا مقابل مبلغ وَصَلَ إلى 20 000 دولار لكل قطعة. ولكنَّ العملةَ الافتراضية شهدت ما بين عامي 2005 و 2009 هبوطا في قيمتها بلغت نسبتُه 85 في المئة مقابل الدولار الأمريكي. وأظهرت أبحاثُ مركزِ **معلوميات التطوير**[2] التابع لجامعة مانشستر، الذي أتولى إدارته، أن فقاعة الذهب ما لبثت أن فُقعت مع دخول عدد كبير من التُّجار إلى السوق. ومع أن ظاهرة زراعة الذهب ما زالت رائجة، فإن الجهاتِ المشتغلةَ فيها انبرت في السنوات القريبة الماضية تبحث عن مَواطن أرخص فأرخص لأداء أعمال شركاتها، مشجِّعة بذلك على إطلاق مشروعات جديدة في ڤيتنام.

بادرة ردِّ فعل[*]

غدت تجارةُ زراعة الذهب أمرا مثيرا للنزاع، لأن جمعَ النقد الافتراضي وبيعَه مقابل أموال حقيقية ينطوي على انتهاك لقواعد التعامل المقبولة والمتعارَفة. ولهذا السبب تسعى الشركاتُ التي تسوِّق ألعابا حاسوبية إلى وَضْع حدّ لزراعة الذهب، وذلك باتِّخاذ تدابير من قبيل حظر اللعب على الأفراد أو اللجوء إلى إقامة دعاوٍ قضائية.

وبصرف النظر عنِ الجوانب القانونية للموضوع، يَنْظُر بعضُ اللاعبين إلى زراعة الذهب على أنها لعبة حاسوبية جائرة لا مراء في جَوْرِها، لأنها تَختزل عمليةَ جمع الثَروة (التي تستغرق في العادة زمنا طويلا) والارتقاء تدريجيّا إلى مستويات أعلى من اللعبة. كذلك يمكن أن تُحْدِثَ اللعبةُ تشتيتا لذهن اللاعب، كما تفعلَ رسالة سپامية (إعلانية غير مرغوبة) تَرِد على البريد الإلكتروني. فمن الصعب أن تتصوَّر نفسَك فارسا من القرون الوسطى تدافع عن مملكتك، في الوقت الذي ينهال عليك فيه وابل من النصائح تبرز أمامك على شاشة الحاسوب، تحيلك إلى عناوين على الإنترنت تغريك بشراء ذهب.

وفي السنوات الأولى اعتادت شركاتُ الألعاب الحاسوبية ومعظم اللاعبين على التعامل مع زراعة الذهب باعتباره عامل إثارة ثانويّا لا أكثر. ولكن هذا الموقف تغيَّر مع تنامي هذه الممارسة وتحوُّلها إلى مؤسسة مزدهرة. وقد ردَّت الشركاتُ بإدخال مزعجات من المستوى الأدنى مثل: حوادث عشوائية تتسبَّب في مهاجمة وقتل الـ«bots» (الشخصيات التي تؤدِّي مهامَّ آلية متكرِّرة، كالتنقيب عن ركاز المعادن، من دون تحكم مباشر من اللاعب)؛ وتخفيض قيمة مفردات وفعاليات يستعملها مزارعو الذهب، أو إزالتها نهائيّا

(*) An Emerging Backlash
(١) Internet Gaming Entertainment
(٢) Development Informatics

(وهذا يُسمى «nerfing»)، وحجب الحسابات الافتراضية للمزارعــين؛ وأخيرا إدخال كود جديد على برمجيات اللعبة من شأنه – مثلا – تأخير تبادل الأموال بين شخوص[1]، متيحين للشــركة فســحة زمنية لتقصِّي إجرائية ما (وهذا يسمى «patching»).

وفي مقابل هذه الإجــراءات المزعجة، لم يَعْدَمْ مزارعو الذهب وســائلَ للتحايل عليها والالتفــاف حولها. فاتَّخذت الشــركاتُ، في معرض الرَّد، تدابيرَ أكثر شــمولا وإحكاما، كمنــع **عناويــن بروتوكــولات إنترنــت**[2] صينية معيَّنة من النفاذ إلى مخدِّمات أمريكا الشَّــمالية أو المخدِّمات الأوروبية. وفي عام 2007، استجاب الموقع eBay أخيرا للضغوط بحظر مبيعات الأشــياء والنقد والحسابات الافتراضيــة كافة، وهو إجراء لم يؤدِّ إلاّ إلى نشوء مئات الوساطات والعمولات التي تقدِّم خدمات تجارة الذهب ورَوْز مســتوى القدرة إلى الزبائن مباشرة.

وتســعى الشــركاتُ أيضا إلى الحدِّ من ممارســة زراعة الذهــبِ عن طريــق المناورة القانونية؛ إذ يتعيَّن على كلِّ لاعب، قبل الاكتتاب على لعبة حاسوبية من المجموعة MMORPG، أن يوافق على عدم الخوض في تجارة الأموال الحقيقيــة. غير أن ثمة مســألة تبقى من دون حــلّ، وتتمثَّل بتحديد المالك للمتعلّقات والنقود العائدة لأحد الشــخوص. ومن ثم، هل لشركة ألعاب حاســوبية حقوق في كل شــيء ينتمي إلى عالَم افتراضي؟ أم أن الذهب أو الســيف ملكٌ للاّعبين الذين يوجدون أحد الشــخوص وممتلكاتــه ويدفعون مالا لهــذه الغاية؟ ولا بدَّ لشــركات هذه الألعاب أن تســتوثق من أنها ســتكون هي الطــرف الرابح إذا مــا أزمعت علــى أن ترفع دعاوى قضائية على شــركات زراعة الذهب. وقد ربــحَ اللاعبون الصينيُّون فعلا أحكاما قضائية ألزمت شــركات الألعاب المحلِّيةَ بإعادة السلع التي فُقدت بسببِ مَواطن قصــور في منظومة هذه الألعــاب. وقد أثبتت تلــك القضايــا أن للاَّعبين حقوقــا في ملكية السلع المجردة على الإنترنت.

وأخيــرا، لجأت الشــركاتُ إلــى إجراء تعديلات في تصاميم الألعاب ومحتواها بغرض إقصاء مزارعي الذهب. واقتضى ذلك إدخال تغييرات كان لها أحيانا أثر عميق في اللعبة. ففي عــام 2007، عمدت الشــركة Jagex إلى تعديل لعبتها المسمّاة رون سكيب RuneScape علــى نحو يجعل بيعَ الذهب الافتراضي أكثر صعوبة. ولكنَّ هذا الحلَّ قد جلب في حدِّ ذاته بعض المشــكلات؛ فقد اســتتبعَ ورودَ شكاوٍ كثيرة تُؤكِّد تدهورَ ممارســة اللعبةِ بسبب من الإجراءات المقيِّدة لهــا. وقد حَمَلَ هذا بعضَ الظرفاء على تمحُّل اســم جديــد للُّعبة (يدلُّ علــى تدهورها) هــو RuinedScape. ومع كل ذلــك، ما زال الاتّجــارُ بالذهب المتحصّل من هذه اللعبة مستمرّا حتى الآن، ولو على نطاق ضيِّق ومقيَّد. بل وقد ذهبت بعضُ الشــركات إلى حدِّ تبني طرائق مزارعي الذهب أنفسِهم، فأصبحت تتقاضى المدفوعات مقابل مبيعاتها من مفردات اللعبة كمصدر رئيسيّ لعوائدها، مجافيــة بذلك الأســلوبَ المعهود مــن إلزام اللاعبين بدفع أجور اشتراكاتهم.

مشهد من العالَم النامي(*)

يعتمــد بعــضُ اللاعبــين، وكذلك بعضُ الشــركات، أحيانا أســاليبَ عدائية لمحاربة مزارعي الذهب. وتُظهِر الإحصاءاتُ أن نحو ربع عدد اللاعبين يجاهــرون بعَدائهم. فقد شَنَّ أفرادُ هذه الفئة حملات غيرَ منظَّمة على شخصيات افتراضية ظَنُّوا (ربما خطأ) أنها تخضع لســيطرة مزارعي الذهب. ونضرب مثــلا أن فتيات قزمات في إحــدى الألعاب كثيرا مــا يتعرَّضن للاغتصاب أو التحرُّش، اعتقادا بأنهنَّ أدوات لمزارعي الذهب.

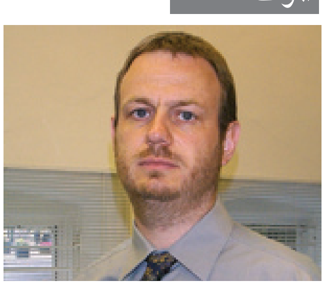
ويبدو أن قســطا من هذه العداوة تؤجِّجه النزعةُ النمطيَّةُ العِرقيــة. ويؤيِّد ذلك ما يذكره المحلِّــل <N. يي> [من مركز أبحــاث پالو آلتو بكاليفورنيا] من وجود أوجه شَبَه بين ردِّ الفعل

(*) A View from the Developing World

(1) caracters؛ أشخاص اللعبة.

(2) IP address (عنــوان بروتوكول إنترنت)؛ عدد اثناني بطول 32 بتّة، يُعرِّف حاســوبا مضيفا متَّصلا بشبكة الإنترنت، وذلــك بهدف تحقيق الاتصال بطريقة **تبــادل الرُّزَم** packet switching. (التحرير)


المؤلف



Richard Heeks

رئيس قسم معلوميات التطوير في جامعة مانشستر بإنكلترا، ومدير مركز معلوميات التطوير التابع لهذه الجامعة. لديه خبرة 30 سنة من العمل في مواقع التقاء التقانات الرقمية مع التطوير الدولي، ومن ذلك عمله مستشارا لعدة حكومات ومؤسسات دولية. يمارس أحيانا ألعابا حاسوبية لأغراض بحثية محضة.

على زراعة الذهب والمعاملة التي لقيَها العمَّالُ الصينيُّون المهاجــرون في إبّان حقبة التهافت على الذهب في ولاية كاليفورنيا منتصفَ القرن التاســعَ عشــر وأواخره. ففي كلتا الحالتين كان للنعــوت الازدرائية التــي ربطت القادمين من شرق آســيا بالأمراض والأوبئة ما يسوِّغ الحاجةَ إلى «اســتئصال» الآسيويين: إما عن طريق التطهير العِرقي الفعلي للتراب الأمريكي منهم، وإما باســتبعادهم نهائيّا عن مخدِّمات الألعــاب الموجــودة علــى أراضــي الولايات المتحدة. كذلك يَستشــهد الكاتــبُ <J. J> بيل> بوصف أحد مزارعي الذهب لتجربته المريرة مع لاعبين أمريكيين: «كانت معاملتهم لي سيئة... كانوا يصرُّون علــى وصفي بالمُزارع وبالكلب الصيني وما شــابه. ليست لديَّ مشكلات مع أيٍّ مــن اللاعبين ســوى الأمريكيين، الذين لا يكفُّون عن معاملتي بعنصرية مريرة.»

وما انفكت زراعة الذهب مقترنة بوصمة، لأن ظــروفَ العمل في مَــزارع الذهب غالبا ما توسَــم بـ«**المَكْدَحَة الافتراضيــة**» virtual sweatshop. على أن هذه الصورة تبقى محلاًّ للنقاش؛ إذ يتقاضــى «مُزارع» الذهب عادة نحو 50 ســنتا عن كل ســاعة من ســاعات العمل التي تتراوح ما بين 10و12 ساعة يوميّا طوال أيام الأسبوع. وقد تبدو هذه الظروفُ، مــن وجهة غربيَّــة، اســتغلالية ومجحفة، ومع ذلك يعدُّها العاملون أنفسُــهم عموما مقبولة، بل أفضل مما يمكــنٍ أن يتقاضَوْه من مزاولتهم أعمالا أخرى محلية. أما الغذاء والسكن فبدائيّان، ولكنهما مجانيَّان. والبدِيل الوحيد لكثير منهــم - كالوافدين الجدد من الأريــاف - هو البطالة. صحيــح إن العمل قد يكــون رتيبا ومملاًّ أحيانا، غير أن معظم العاملين يعربــون عن اســتمتاعهم بقضاء أوقاتهم أمامَ لوحــة المفاتيح. هذا المزيج من العمل والتســلية، من الجدِّ واللَّعب، أكسَبَهم اللقب «**الكادحون اللاعبون**» playborers.

ومن ثــم، فإن زراعة الذهب تفتح للبلدان النامية ســبيلا إلــى جَنْي منافــع من تقانة المعلومــات؛ فيتيــح مئــات آلاف الوظائــف والأعمال، ويخفِّف من مشكلة الفقر المتفاقمة في المــدن. وثمة أدلَّة غير موثَّقة تشــير إلى أنه يســهم أيضا في الحدِّ من الجريمة عن طريق ضمِّ شبّان المدن العاطلين إلى صفوف العاملين. ولهذا الســبب، ومع أن «مزارعي» الذهب يؤلِّفون - ظاهريّا - جزءا من الاقتصاد المســتتر، فإن عددا مــن الحكومات المحلية فــي الصين توفِّر رؤوسَ أموال اســتثمارية لتشجيع إنشاء مَزارع الذهب في مناطقها.

وهكذا يستمر سِحْرُ زراعة الذهب بإغراء كثير مــن العمَّــال ذوي الدخــل المنخفض بالإقبــال على هذه اللعبــة، أملا بالإثراء من ورائها - آيةُ ذلك اتِّساع عدد الممارسين لها على الصعيد العالمي بنســبة تتجاوز 50 في المئة ســنويّا، مما وَلَّدَ وسطا متناميا لزيادة الطلب. فقد سَــجَّلت مَزارعُ الذهب الصينيَّة زيادات ملحوظــة في المبيعات والتشــغيل، حتى في ظلِّ الأزمة المالية العالمية الأخيرة.

ومن شــأن زراعة الذهب كذلك أن تحدِّد معالــمَ الطريق فــي إيجاد فــرص للبلدان النامية؛ فإن قضاء الأفراد جُلَّ أوقات عملهم وفراغهــم على الإنترنــت يفضي بالضرورة إلــى تعاظم الحاجــة إلى توفيــر الخدمات الحاسوبية ذات الصلة مباشرة تحت عنوان «**العمــل السَّــيْبَري**» cyberwork. وستكشف الدراساتُ المستقبليَّةُ في هذا المضمار قدرةَ التجــارة الدولية والإنترنت علــى دفع هذه الفعالية التجارية قُدُما إلى الأمام.

ولكــنَّ على هــذه البلدان أيضــا أن تثير تســاؤلات صعبــة: هــل يتعيَّن علــى الصين وســائر البلدان النامية تشجيع زراعة الذهب باعتباره وســيلة لتوســيع رقعــة الصادرات وتشــغيل الناس؟ وهل بإمكان مزارعي الذهب الانتقال إلى أعمال أعلى مهارة في مجال تقانة المعلومات؟ وهل تمثِّل زراعــة الذهب نموذجا نمطيّا لأشكال جديدة من التنمية الاقتصادية؟ ومــا هي أنــواع العمــل السَّــيْبَري المحتمل ظهورها من وراء الحُجُب؟ كثيرة هي مســائل البحث الموجَّهة إلى علماء الاجتماع، وجميعها ينبِّه إلى أن الاتصالات الواسعة النطاق جديرة بأن تعطي للدول الفقيرة دورا محوريّا في عالم الاقتصاد الرقمي السريع التطوُّر. ■

مراجع للاستزادة

Synthetic Worlds: The Business and Culture of Online Games. Edward Castronova. University of Chicago Press, 2005.

Play Money. Julian Dibbell. Basic Books, 2007.

Chinese Gold Farmers in MMORPGs. Ge Jin. YouTube, 2007. **www.youtube.com/watch?v=rEegohRPsqg**

Current Analysis and Future Research Agenda on "Gold Farming": Real-World Production in Developing Countries for the Virtual Economies of Online Games. Richard Heeks. Institute for Development Policy and Management, University of Manchester, 2008. **www.sed.manchester.ac.uk/idpm/research/publications/wp/di/di_wp32.htm**

Terra Nova. Virtual worlds blog. **http://terranova.blogs.com**

Scientific American, January 2010

تطور رؤية الألوان لدى الرئيسيات(*)

يُظهر تحليل الأصبغة البصرية لدى الرئيسيات أن رؤيتنا للألوان قد تطورت بطريقة غير عادية وأن للدماغ قدرة على التكيف أكثر مما كان يعتقد.

<G. H. جاكوبس> ـ <J. ناثانز>

يبدو العالم لأعيننا مرتبا بروعة لامتناهية من الألوان التي تتدرج من اللون البرتقالي الزاهي، لون زهرة الـ (ماري گولد marigold ـ القطيفة ـ المخملية)، إلى اللون الرمادي المعدني (لون شاسيه السيارات)، ومن الأزرق الزاهي لسماء منتصف الشتاء إلى الأخضر الزمردي. والجدير بالملاحظة أنه بالنسبة إلى معظم البشر، يتم تمييز أي لون من خلال المزج بين ثلاث موجات ضوئية فقط ذوات أطوال موجية ثابتة بشدات معينة. وتنتج هذه الخاصية في رؤية الألوان عند البشر والتي تدعى **ثلاثية الألوان** trichromacy من كون شبكية العين – وهي طبقة الخلايا العصبية في العين التي تتلقى الضوء وترسل المعلومات البصرية إلى الدماغ – تستخدم ثلاثة أنواع من **الأصبغة** pigments الماصة للضوء لرؤية الألوان. إن إحدى النتائج لخاصية ثلاثية الألوان أن شاشات التلفاز والحاسوب يمكنها أن تمزج ثلاثة **بيكسلات**(1) pixels (نقاط إضاءة الشاشات) – وهي الحمراء والخضراء والزرقاء لإنتاج ما نراه من طيف كامل للألوان.

على الرغم من أن خاصية ثلاثية الألوان شائعة بين الرئيسيات إلا أن هذه الخاصية ليست عامة في المملكة الحيوانية. إذ إن الثدييات غير الرئيسيات كافة هي **ثنائية الألوان** dichromats وتعتمد رؤية الألوان لديها على نوعين فقط من **الأصبغة البصرية** visual pigments، كما أن بعض الثدييات الليلية لديها صباغ واحد فقط. أما بالنسبة إلى بعض الطيور والأسماك والزواحف؛ فلديها أربعة أصبغة بصرية وتستطيع تمييز الأشعة فوق البنفسجية غير المرئية بالنسبة إلى البشر. لذا يبدو أن ثلاثية الألوان لدى الثدييات الرئيسية أمر غير اعتيادي. كيف حدث هذا التطور؟ وبناء على تراكم الدراسات على مدى عقود؛ فإن الأبحاث الحديثة في علم الوراثة والبيولوجيا الجزيئية والفيزيولوجيا العصبية لرؤية الألوان عند الرئيسيات قد وصلت إلى إجابات غير متوقعة ونتائج مذهلة عن قدرة دماغ الرئيسيات على التكيف.

الأصبغة وماضيها(**)

قبل 50 عاما، جرى لأول مرة قياس الحساسية الطيفية للأصبغة البصرية الثلاثة المسؤولة عن رؤية الألوان عند البشر، وهي الآن معروفة بدقة متناهية. حيث إن كل صباغ يمتص الضوء من منطقة محددة من الطيف ويتميز من غيره بطول الموجة التي يمتصها بشكل أعظمي. إذ إن صباغ الموجات القصيرة S يمتص الضوء بشكل أعظمي عند طول الموجة 430 نانومتر (النانومتر يساوي

مفاهيم مفتاحية

- تختلف رؤية الألوان عند البشر وعند بعض الرئيسيات عنها عند الثدييات غير الرئيسيات.
- وهي تُدعى ثلاثية الألوان trichromacy؛ لأنها تعتمد على ثلاثة أنواع من الأصبغة الحساسة للضوء في شبكية العين.
- إن تحليل جينات تلك الأصبغة يعطي فكرة عن كيفية تطور خاصية ثلاثية الألوان ابتداء من رؤية الألوان عند الثدييات غير الرئيسيات التي تمتلك نوعين فقط من الأصبغة الضوئية photopigments.
- أحدث المؤلفان خاصية ثلاثية الألوان لدى الفئران بإدخال جينات الأصبغة البشرية إلى جينوم genome الفأر. وكشفت التجربة عن قدرة على التكيف غير متوقعة في دماغ الثدييات.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE EVOLUTION OF PRIMATE COLOR VISION
الرئيسيات أو **الرئيسات** Primate: رتبة عالية من الثدييات تشمل الإنسان والقرد.
(**) Pigments and Their Past
(1) أو: عنصورة، وهذه نحت من عنصر – صورة. (التحرير)

جزءا من بليون من المتر) تقريبا، أما صباغ الموجات المتوسطة M فيمتص الضوء بشكل أعظمي عند طول الموجة 530 نانومتر تقريبا، في حين يمتص صباغ الموجات الطويلة L الضوء بشكل أعظمي عند طول الموجة 560 نانومتر. (وفي السياق نفسه، فإن أطوال الموجات 470 و 520 و 580 نانومتر تتوافق مع الألوان التي يميزها الإنسان العادي كألوان زرقاء، خضراء، صفراء على التوالي).

تتوضع هذه الأصبغة، التي يتكون كل منها من بروتين يشكل معقدا مع مركب ممتص للضوء من مشتقات ڤيتامين A، في الغشاء السيتوبلازمي للخلايا المخروطية: وهذه هي خلايا عصبية مستقبلة للضوء في شبكيّة العين وسميت كذلك بسبب شكلها المستدق. فعندما يمتص صباغ ما الضوء، فإنه يتسبب في سلسلة من الأحداث الجزيئية التي تؤدي إلى تنبيه الخلية المخروطية. وهذا التنبيه بدوره يُفعِّل الخلايا العصبية الأخرى في الشبكية التي تنقل في نهاية المطاف الإشارة على طول العصب البصري إلى الدماغ.

ومع أن أطياف امتصاص أصبغة المخاريط معروفة منذ فترة طويلة، إلا أن هذه الأصبغة لم تكن معروفة حتى عام 1980 حين تمكن (<ناثانز> ـ أحد كاتبي هذا البحث) من تحديد **جينات (مورثات) الأصبغة البشرية** human pigments genes ومن تحديد تسلسل الأحماض الأمينية التي تُشكل بروتين كل صباغ (من تسلسل **الدنا** DNA في هذه الجينات). وقد أظهر تسلسل الجينات أن الصباغين الضوئيين M وL متطابقان تقريبا. كما أظهرت التجارب اللاحقة أن الاختلاف في الحساسية الطيفية بينهما ناجم عن استبدال ثلاثة أحماض أمينية فقط من أصل الأحماض الأمينية الثلاثمئة والأربعة والستين التي يصاغ منها كل من الصباغين.

كما أظهرت التجارب أن جيني الصباغين M و L يتوضع أحدهما بجوار الآخر في **الكروموسوم** X chromosome وهو أحد الكروموسومين الجنسيين (يوجد لدى الذكور كروموسوم واحد X وآخر Y، أما لدى الإناث فهناك كروموسومان من النوع X X). وهذا التوضع لم يكن مفاجئا؛ لأن أحد الشذوذات الشائعة في رؤية الألوان عند الإنسان – وهو مرض عمى الألوان للونين الأحمر والأخضر – معروف منذ زمن طويل أنه أكثر شيوعا لدى الذكور منه لدى الإناث، وأنه يُورَّث بنمط يشير إلى أن الجينات المسؤولة تتوضع على الكروموسوم X. وبالمقابل، فإن جين الصباغ S يتوضع على الكروموسوم 7، ويظهر تتالي هذا الجين بأن الصباغ S الذي **تكوده** encoded ذو صلة بعيدة بالصبغين M و L.

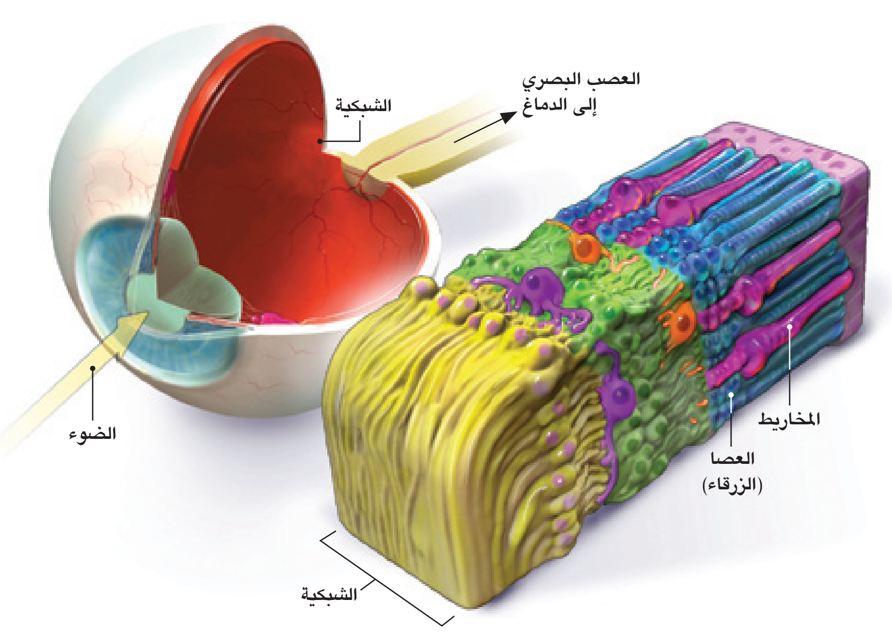
وبحلول منتصف التسعينات وفرت الدراسات المقارنة لجينات هذه الأصبغة الثلاثة مع مثيلاتها في الحيوانات الأخرى معلومات مهمة حول تاريخ هذه الأصبغة. إذ تبين أن جميع الفقاريات تقريبا لديها جينات ذات تسلسل يشبه إلى حدٍ كبير ذلك الموجود في الصباغ S لدى البشر، مما يدل على أن نسخة من الصباغ ذي الموجات القصيرة هي العنصر القديم في رؤية الألوان. كما تنتشر مشابهات الصباغين الطويلي الموجة M و L على نطاق واسع في الفقاريات، وعلى الأرجح أنها قديمة للغاية. ولكن بين الثدييات وجدت الأصبغة المشابهة للصباغين L و M لدى مجموعة فرعية من أنواع الرئيسيات، وهذا يشير إلى أن هذه الميزة (أي وجود الأصبغة المشابهة للصباغين M و L) قد تطورت مؤخرا على الأرجح.

تمتلك معظم الثدييات غير الرئيسيات



يمكن لقرود الشمپانزي (كالبشر) التمييز بين ألوان لا يمكن لغيرها من الثدييات الأخرى أن تراها. وما يراه الناظر إلى لوحة كاندينسكي(1) Kandinsky يعكس خصائص الألوان (الدهانات) وطبيعة الإضاءة ونظام رؤية اللون لدى الناظر.

(1) Wassily Kandinsky – فاسيلي كانديسكي – رسام روسي الأصل ويعتبر أحد الرواد الأوائل للمبدأ اللاتصوري أو اللاتمثيلي، وبعبارة أخرى، مبدأ «التجريدية الصافية» ولوحاته معروفة باسمه. (التحرير)



شبكية العين: طبقة من الخلايا العصبية في الجزء الخلفي من العين، تُرسل المعلومات البصرية إلى الدماغ عن طريق العصب البصري. وتعتمد رؤية الألوان على المخاريط: وهي خلايا حسية مُستدقة تحوي أصبغة حساسة للضوء. تعمل الخلايا الأخرى الحساسة للضوء والتي تدعى العِصي rods – في الضوء الخافت ولا تشارك عادة في رؤية الألوان. تتوضع هذه العصي والمخاريط، التي تعرَف معا باسم المستقبلات الضوئية، خلف أنواع أخرى من الخلايا التي تدعم عَملية الرؤية.

صباغا واحدا فقط طويل الموجة، وهو يشبه الأصبغة الطويلة الموجة L الموجودة لدى الثدييات الرئيسية. ويقع جين الصباغ الطويل الموجة هذا لدى الثدييات غير الرئيسية أيضا على الكروموسوم X. وقد أثارت هذه الميزات إمكانية أن تكون جينات صباغي الموجات الطويلة لدى الثدييات الرئيسية قد ظهرت أولا في الأنسال الأولى للثدييات الرئيسية كما يلي: تضاعف جين صباغ الموجات الطويلة لدى الثدييات على كروموسوم X واحد، ومن ثم أدى حدوث **طفرات** mutations في إحدى أو كلتا نسختي الجين السلفي المرتبطة بالكروموسوم X، إلى إنتاج صباغين متماثلين تماما لهما مجالان مختلفان من الحساسية الطيفية ـ هما الصباغان M و L.

إن الآلية المعروفة لتضاعف الجين بهذا الشكل تحدث أثناء تشكُّل البويضات والنطاف (الحيوانات المنوية). فعندما يحدث الانقسام الخلوي للبويضات والنطاف، يحدث تبادل أجزاء من أزواج الكروموسومات بعملية تُسمى **التأشيب (إعادة التركيب)** recombination، ويؤدي أحيانا التبادل غير المنتظم (غير المتكافئ) للمادة الوراثية إلى إنتاج كروموسوم يمتلك نسخا إضافية لجين واحد أو أكثر. وفيما بعد، تقوم عملية **الانتخاب (الاصطفاء) الطبيعي** natural selection بالمحافظة على الطفرات المفيدة التي ظهرت في تلك الجينات المتضاعفة. وبذلك وبنزعة البقاء للأصلح، فإن الطفرات المفيدة تستمر وتنتقل (وتعبر) إلى الأجيال المستقبلية وتنتشر بين الأفراد أو السلالات.

بالعودة إلى موضوع رؤية اللون لدى الثدييات الرئيسية، فقد تكون خاصية ثلاثية الألوان المعتمدة على الصباغين الضوئيين M و L الجديدين جنبا إلى جنب مع الصباغ S قد مُنحت ميزة اصطفائية مفضلة على خاصية ثنائية الألوان في بيئات معينة. وعلى سبيل المثال، فإن ألوان الفاكهة الناضجة تبدو مغايرة للون أوراق النبات الخضراء المحيطة بها، ولكن ثنائيات الألوان هي أقل قدرة على تمييز هذا التباين لأن حساسيتها لتمييز فروق الألوان في مناطق ألوان الطيف الأحمر والأصفر والأخضر ضعيفة. وعلى الأرجح، فإن تحسين القدرة على تمييز الفاكهة الصالحة للأكل يساعد على استمرار بقاء الأفراد الذين يحملون الطفرات المسؤولة عن الرؤية الثلاثية الألوان، ويؤدي إلى انتشار تلك الجينات الطافرة في مجتمعات الكائنات الحية.

تبدو الآليات التي ذُكرت *أعلاه* حول تضاعُف الجين المتبوع بطفرة مؤدية إلى اختلاف في تتالي الدنا كتفسير منطقي لتطور جينات الصباغين M وL عند الرئيسيات، لأنه تم تعرف هذه السلسلة من الأحداث في مجموعات أخرى من الجينات. لنأخذ، على سبيل المثال، الجينات التي تكود الخضاب (الهيموگلوبين)، وهو البروتين الذي يحمل الأكسجين في الدم. يبدو أن جينات الخضاب الجنيني الذي يبدأ إنتاجه في الشهر الثاني من الحمل داخل الرحم وجينات الخضاب

الكهلي، قد نشــأت عن تضاعف جين سلفي مفرد، طرأت عليه لاحقا طفرة أنتجت أنماطا **متغايــرة** variants مــن الخضــاب متباينــة في أُلفتها للأكســجين. وبشــكل مماثل، فإن الگلوبولينات المناعية - وهي البروتينات التي تتواسط اســتجابة الجهاز المناعي بالأجسام المضــادة - تكــون متنوعة جــدا وتنتج من تضاعف جين سلفي مفرد.

طريقان للرؤية الثلاثية الألوان(*)

إلا أن القصــة الحقيقيــة لتطور خاصية ثلاثية الألوان عند الرئيسيات صارت أكثر تعقيدا وتشويقا. إذ أتى الدليل الحاسم من اكتشاف آليتين جينيتين (وراثيتين) مختلفتين للرؤية الثلاثية الألوان عند الرئيسيات، الأولى عند رئيســيات العالم القديم (المجموعة التي تطورت في صحارى إفريقيا وآسيا وتشمل الگيبــون gibbons والشــمپانزي والغوريلا والإنســان)، والثانية عند رئيســيات العالم الجديد (الأنواع الموجودة في وسط وشمال أمريكا مثل المارموس marmosets والتامارين tamarins والقرد السنجاب).

يحمل الإنسان وغيره من رئيسيات العالم القــديم جينات الصباغــين M و L على كل من الكروموســومين X الخاصين بها، ومن ثَمَّ يمتلك الإنسان وهذه الرئيسيات خاصية الرؤية الثلاثية الألوان. ولكن عند فحص رؤية الألوان عند رئيســيات العالم الجديد خلال العديد من العقود الماضية، لاحظ أحد كتاب هذا البحث (<جاكوبــز>) أن خاصية الرؤية الثلاثية الألــوان موجودة فقط لدى مجموعة فرعية من الإنــاث. كما أظهرت الفحوصات أن جميع ذكور رئيسيات العالم الجديد وثلث إناثه تقريبــا تُبدي نقصا في حساســيتها لتمييز الألوان عند الأطوال الموجية المتوسطة والطويلة، وهذا مطابق تماما لخاصية ثنائية الألــوان. وفــي المحصلة، نخلــص إلى أن خاصيــة ثلاثية الألوان ليســت ظاهرة عامة عند جميع الرئيسيات.

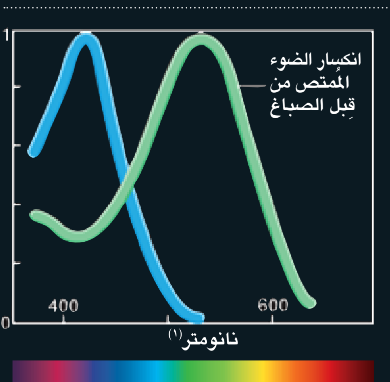
[أساسيات]

نمطان لرؤية الألوان لدى الثدييات(**)

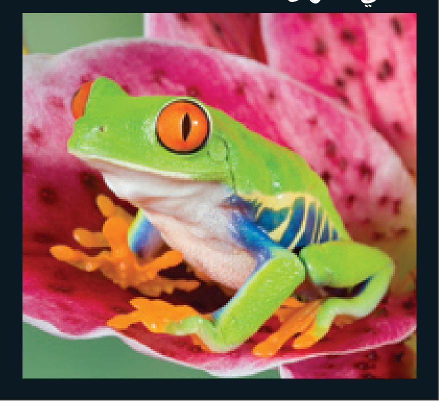
إن أغلب الثدييات تمتلك خاصيــة الرؤية الثنائية الألوان، أي إن رؤيتها للألوان تنتج من نوعين فقــط من الأصبغة البصرية *(الصورة العلوية)*: أحدها يمتص الموجات الضوئية القصيرة بشكل أعظمي *(المنحنــى البياني الأزرق)* والآخر أكثر حساســية للموجات الضوئيــة الطويلة *(المنحنى البياني الأخضر)*. ولكن البشــر وبعض الرئيســيات الأخرى لديها رؤية ثلاثية الألوان Trichromacy كمــا في *(الصورة السفلية)*، حيث ترى ألوانا أكثر لأنهم يســتخدمون ثلاثــة أنواع من الأصبغة: صبــاغ الموجات القصيرة *(المنحنــى البيانــي الأزرق)* ونوعين مــن الأصبغة للموجات الطويلة *(المنحنيان البيانيان الأحمر والأخضر)*.

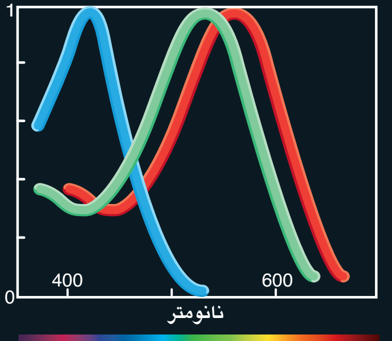
ثنائي الألوان.





ثلاثي الألوان.





فوائد التطور؟(***)

تتباين ألوان الفاكهة الناضجة مع أوراق النبات الأخضر المحيطة بها، ويمكن لخاصية ثلاثية الألوان أن تميِّز مثل هذا التباين أفضل مما تفعله خاصية ثنائية الألوان. فعلى الأرجح أن تطوير القدرة على تمييز الفاكهة الصالحة للأكل عند الأفراد ثلاثية الألوان يساعد على استمرار بقاء الأفراد ويؤدي إلى انتشار جينات الرؤية الثلاثية الألوان لدى مجتمع الرئيسيات.



لتفسير هذه الظاهرة الغريبة درس بعض الباحثــين عدد وترتيب جينــات الصباغ في الخلية المخروطيــة لدى قردة العالم الجديد. وقد ظهر أن لدى معظمها جين واحد لصباغ الموجات القصيرة (يقع على كروموسوم غير جنســي)، كما أن لديها جينا واحدا لصباغ الموجات الطويلة، يقع على الكروموســوم X. وبتعبير آخر، فــإن الصفة الوراثية الطبيعية للأصبغة البصرية عندها شبيهة بمقابلاتها عنــد الثدييات ذات خاصيــة الرؤية الثنائية

(*) Two Roads to Trichromacy
(**) Two Kinds of Mammalian Color Vision
(***) Evolutionary Advantage
(1) الخط البياني الأفقي في الرسمين بالنانومتر لقياس طول الموجات الضوئية. (التحرير)

[أساسيات في الوراثة]

تصميمان للرؤية عند الرئيسيات(*)

تختلف الأسس الوراثية للرؤية الثلاثية الألوان لدى رئيسيات العالم القديم عنها في رئيسيات العالم الجديد، فالجين المكوِّد encoding لصباغ الموجات القصيرة *(الأزرق)* يتوضع على كروموسوم غير جنسي. كما تمتلك رئيسيات العالم القديم جينين صبغين للموجات الضوئية الأطول *(الأحمر والأخضر)* على كل كروموسوم X. وبذلك يمتلك الذكور X و الإناث XX ثلاثة جينات للأصبغة، ومن ثم خاصية الرؤية الثنائية الألوان.

لدى رئيسيات العالم الجديد ثلاثة أنماط مختلفة من الأئل[٢] alleles الجين المتوضع على الكروموسوم X لصباغ الموجات الطويلة في جُميعة pool جيناتهم *(الأحمر، الأصفر والأخضر)*، إلا أن كلاً من كروموسومات X يحمل أليلا واحدا فقط من هذه الأئل. نتيجة لذلك، فإن الإناث التي لديها أئل صباغ متباينة على كلا الكروموسومين X هي فقط التي تمتلك خاصية الرؤية الثلاثية الألوان.

نوع رؤية الألوان = جين صباغ طويل الموجة + جين صباغ قصير الموجة

		نوع رؤية الألوان	جين صباغ طويل الموجة	جين صباغ قصير الموجة
رئيسيات العالم القديم	ذكور	ثلاثية الألوان	لا يوجد جين صباغ على الكروموسوم Y (Y) — جينا صباغ لكل كروموسوم X (X)	
	إناث	ثلاثية الألوان	X — X	
رئيسيات العالم الجديد	ذكور	ثنائية الألوان	Y — أليل صباغي واحد على كل كروموسوم X (X ?)	
	إناث	إذا احتوى كل من الكروموسومين X على الأئل صباغ متشابهة فهي: ثنائية الألوان إذا احتوى كل من الكروموسومين X على الأئل صباغ مختلفة فهي: ثلاثية الألوان	X ? — X ?	



رئيسيات العالم القديم(**)

تطورت في إفريقيا وآسيا منذ ملايين السنين، وهي تضم اليوم القرود العليا (الإنسان، الأورانغ أوتان، الغوريلا، البونوبو والشمپانزي)، إضافة إلى الغيبون واللانغور والقرد المكاك والماندريل. وقد انعزلت رئيسيات العالم القديم عن رئيسيات العالم الجديد - وسط وجنوب أمريكا - عندما أصبحت قارتا إفريقيا وأمريكا الجنوبية منفصلتين تماما قبل نحو 40 مليون سنة.

الألوان، إذن كيف يمكن لأي منها أن يصبح ثلاثي الألوان؟

الإجابة هي أن **جُميعة جينات**[١] gene pool رئيسيات العالم الجديد تتضمن متغيرات عدة أو **ألائل**[٢] alleles لجين الصباغ المرتبط بالكروموسوم X. نسخ مختلفة بتتال مُعَدَّل قليلا في تسلسل الدنا. تحدث التباينات في الألائل في كثير من الجينات، ولكن الاختلافات الصغيرة في تتالي الدنا بين الألائل نادرا ما تترجم إلى اختلافات وظيفية. إلا أن الألائل المتباينة للأصبغة المرتبطة بالكروموسوم X في رئيسيات العالم الجديد، أدت إلى ظهور أصبغة ذات حساسية طيفية مختلفة. فعلى سبيل المثال، تمتلك الأنواع النموذجية من رئيسيات العالم الجديد مثل قرود السنجاب ثلاثة ألائل لجين صباغ المخروط المرتبط بالكروموسوم X في تجميعة جيناتها: إحداها مكودة لبروتين مشابه للصباغ M عند البشر، والثانية مكودة لبروتين مشابه للصباغ L عند البشر أيضا، والثالثة مكودة لصباغ تقع خاصية امتصاصه للضوء في الوسط بين الصباغين الأول والثاني.

بامتلاكها كروموسومين اثنين X فإن أنثى القرد السنجاب - الأنثى فقط - يمكن لها أن ترث أليلين مختلفين أحدهما عن الآخر بطول الموجة الضوئية (واحدة على كل كروموسوم - X)، وبذلك فهي تكتسب خاصية ثلاثية الألوان. إلا أن ثلث الإناث تقريبا سترث أليل الصباغ نفسه على الكروموسومين X، وتكون في النهاية ذات خاصية ثنائية الألوان، مثل الذكور القليلي الحظ. يمكن للمرء أن يفكر في نظام ثلاثية الألوان لدى رئيسيات العالم الجديد على أنه نسخة الإنسان المسكين أو بعبارة أدق نسخة الإناث المسكينات من خاصية الرؤية الثلاثية الألوان الموجودة بشكل شامل لدى رئيسيات العالم القديم (*انظر المؤطر أعلاه*).

إن التباين في رؤية الألوان بين رئيسيات العالم الجديد والقديم يفتح نافذة على تطور رؤية اللون في كلتا المجموعتين. فقد بدأت أنساب رئيسيات كل من العالمين القديم والجديد بالتباعد (بالانفصال) عن بعضها بعضا قبل نحو 150 مليون سنة، مع الانفصال التدريجي لقارتي إفريقيا وأمريكا



◄ الميمون Mandrill: هو قرد أفريقي ضخم

(*) Two Designs for Primate Vision
(**) Old World Primates
(١) أو مجموعة الجينات.
(٢) جمع **أليل** allele: أحد جينين متغايرين يرمزان إلى الصفة نفسها. (التحرير)

الجنوبية عن بعضهما، ليكون انعزال صفاتها الوراثية قد اكتمل قبل نحو 40 مليون سنة.

قد يتوقع المرء أن آليتي خاصية ثلاثية الألوان لسلالات العالمين القديم والجديد قد تطورتا بشكل مستقل، بعد انفصال سلالات العالم القديم عن سلالات العالم الجديد. ومن الممكن أن كلتا المجموعتين قد بدأتا بنمط ثنائي الألوان، بمتممة ذات صباغين أحدهما ذو موجة طويلة والآخر ذو موجة قصيرة. قد يكون جين صباغ الموجة الطويلة عند رئيسيات العالم القديم خضع للتضاعف ومن ثم لاختلاف أو لتغير في تتاليه كما ذكرنا سابقا. أما في رئيسيات العالم الجديد فقد يكون جين صباغ الموجة الطويلة تعرض لتغير طفيف في تسلسله، مع طفرات ناجحة أنتجت ألائل متنوعة لأصبغة للموجات الضوئية الطويلة ومن ثم بقيت سائدة لدى البشر.

إن مقارنة سلاسل الأحماض الأمينية للأصبغة البصرية المتوضعة على الكروموسوم X توحي بسيناريو آخر. في كل من رئيسيات العالم القديم والجديد تشترك جميع الأصبغة M في مجموعة من ثلاثة أحماض أمينية تُعطي أعلى حساسية طيفية عند 530 نانومتر، في حين تشترك جميع الأصبغة L في مجموعة أخرى تُعطي أعلى حساسية طيفية عند 560 نانومتر. وقد مكنتنا دراسة أطياف الامتصاص لأصبغة أخرى ذات موجات طويلة من التوصل إلى أن التغيرات الحاصلة في العديد من الأحماض الأمينية قد تزيح الحساسية العظمى لهذه الطائفة من الأصبغة إلى أطوال موجية أقصر أو أطول. إذن، يبدو من المستبعد أن تتقاطع رئيسيات العالمين القديم والجديد فيما بينها وبشكل استقلالي بخاصية الاعتماد على مجموعات متطابقة من الأحماض الأمينية لإزاحة حساسية أصبغة الأطوال الموجية الطويلة.

وبدلا من ذلك، يبدو الأكثر منطقية أن تلك التغيرات في الألائل كتلك الموجودة في رئيسيات العالم الجديد حاليا كانت عبارة عن حالة بدائية ظهرت عند السلف المشترك لكلتا المجموعتين، وكان ظهورها هو الخطوة الأولى باتجاه خاصية ثلاثية الألوان لكلتيهما (*انظر المؤطر في هذه الصفحة*). وقد تكون ألائل الأصبغة المختلفة ظهرت عبر سلسلة من الطفرات المتعاقبة في جين صباغ الموجات الطويلة قبل أن يحصل الانفصال بين سلالات رئيسيات العالم القديم والجديد ببضع الوقت. (نحن نعتقد أن صباغ الموجات المتوسطة كان جزءا من هذه المتممة البدائية، لأن سلسلة الأحماض الأمينية فيه تحوي مجموعة من التغيرات الثلاثة في السلسلة التي تُميز الصباغ L من الصباغ M ولأن امتصاصها للطيف يقع في الوسط بينهما).

(*) New World Monkeys
(**) How Primate Trichromacy Evolved



القرد السنجابي ذو البطن الأبيض ◄

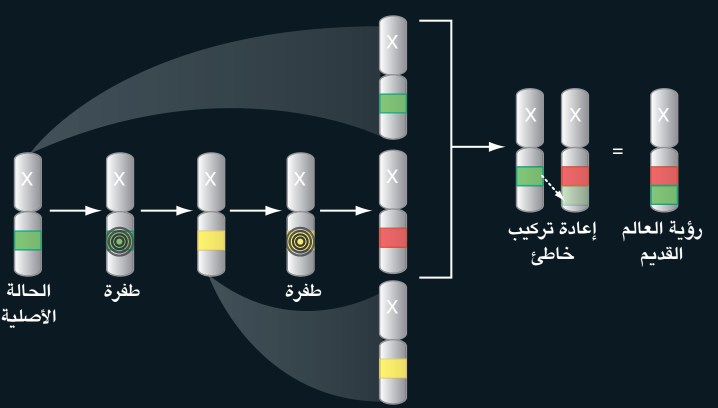
قردة العالم الجديد(*)

توجد في وسط وجنوب أمريكا وتميل إلى أن تكون أصغر من مثيلاتها في العالم القديم. تضم أنواعا أو أجناسا مثل مارموسيت، تامارين، قرد صغير طويل الذيل، قرد عنكبوتي، قرد سنجابي، قرود هولر، وقرد كابوتشين ذي القلنسوة.

[اكتشافات مدهشة]

كيف تطورت رؤية ثلاثية الألوان عند الرئيسيات(**)

تبين مقارنة الأسس الوراثية لرؤية اللون عند رئيسيات العالمين القديم والجديد خطوات التطور الرئيسية التي أدت إلى رؤية ثلاثية الألوان في بعض إناث قرود العالم الجديد وعند كلا الجنسين في رئيسيات العالم القديم.



عند السلف المشترك لكل من رئيسيات العالم القديم والجديد، خضعت الألائل السلفية لجين صباغ الموجات الطويلة المرتبطة بالكروموسوم X لطفرات ناجحة (*الأخضر في أقصى اليسار*) أدت إلى الحصول على ثلاثة ألائل صباغ للموجات الطويلة في الجميعة الجينية gene pool عندها (*أخضر وأصفر وأحمر*) و بقيت هذه التغيرات في الرئيسيات الحديثة للعالم الجديد. وبعد أن أصبحت سلالات العالمين القديم والجديد معزولة عن بعضها بعضا حدث خلل ما في عملية إعادة التركيب – العملية التي يحدث فيها تبادل أجزاء من الكروموسومات أثناء تشكل البويضات والنطاف – في إناث العالم القديم أدى إلى توضع أليلين مختلفين معا على الكروموسوم X نفسه (*أقصى اليمين في الصورة*). ولأن هذه الحالة أدت إلى ظهور صفات اصطفائية جيدة عند الذكور كما عند جميع الإناث، فقد أصبحت النمط المعياري عند رئيسيات العالم القديم الحالية.

عندها وبعد أن انفصل كل من نوعي الرئيسيات حصل خلل نادر في الإناث من نسل سلالات رئيسيات العالم القديم اللواتي يحملن نوعين مختلفين من آلائل جين صباغ الموجات الطويلة. هذه الحوادث النادرة أدت إلى توضع الأليل M إلى جانب الأليل L على الكروموسوم X المفرد، مما سمح باتساع نطاق خاصية ثلاثية الألوان لتشمل الذكور كما هي عند جميع الإناث.

وقد منح هذا التجديد الجيني حامليه أفضلية في عملية الاصطفاء، حيث اختفى الكروموسوم X الذي يحمل جينا واحدا فقط لصباغ الموجات الطويلة من الجميعة الجينية لرئيسيات العالم القديم. واستمر النظام البدائي لألائل الأطوال الموجية الثلاثة الأطول في الرئيسيات المنعزلة عن بعضها جغرافيا ووراثيا.

دور العشوائية (في تطور رؤية الألوان)(**)

إحدى الملاحظات المثيرة للدهشة التي تنطوي عليها نتائجنا في رئيسيات العالم القديم والجديد تتعلق بدور العشوائية في خاصية ثلاثية الألوان. ولا نشير هنا إلى الطفرات الجينية العشوائية التي أدت منذ البداية إلى إتمام الجينات المعطية لخاصية ثلاثية الألوان. وقد وجد علماء الأحياء أنه عادة حالما تتطور سمة مفيدة بهذه الطريقة المعتمدة على المصادفة تصبح عادة هذه السمة **ثابتة** hardwired بحيث إن العمليات الخلوية الخاضعة لبرمجة محددة سلفا تنسق بدقة تطور هذه السمة في الأفراد. ومع ذلك، يبدو أن للحوادث العشوائية في كل عضوية وحتى في كل خلية مخروطية نامية دورا كبيرا بل أساسيا من أجل رؤية اللون عند الرئيسيات.

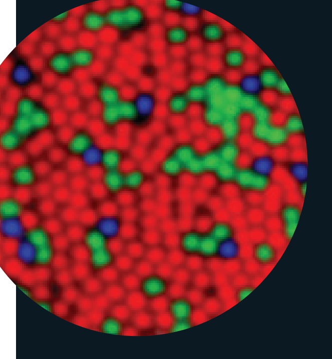
لشرح كيف ساعدت العشوائية على

(*) Randomness in the Retina
(**) The Role of Randomness
(١) locus control region

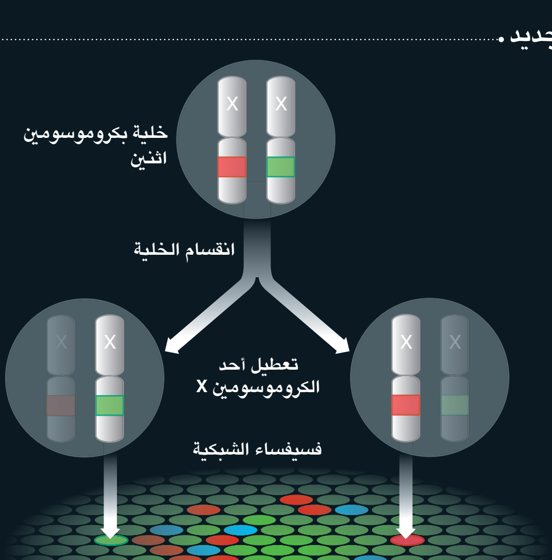
[اكتشافات مفاجئة]

العشوائية في الشبكية(*)

تحوي كل خلية مخروطية جينات لثلاثة أصبغة لونية، لكنها تختار واحدا فقط من الثلاثة لتكون فعالة وتعطل الاثنين الباقيين. إن العملية التي تتحكم في انتقاء جين صباغ الموجات القصيرة غير معروفة بالتفصيل، ولكن الآليات التي تحدد انتقاء أحد جيني صباغ الموجات الطويلة تبدو عشوائية، كما يبدو أن توزع مخاريط الموجات الطويلة في الشبكية عشوائي أيضا.

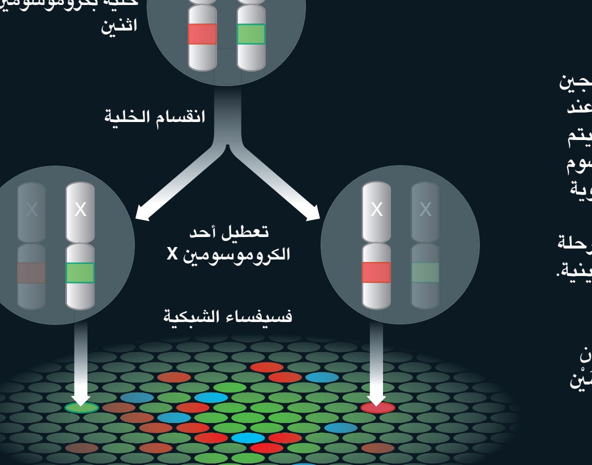


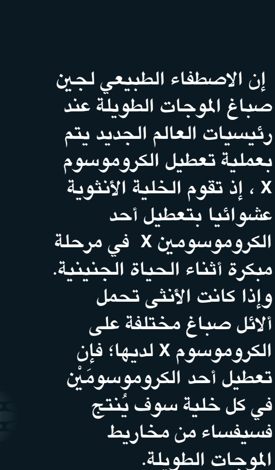
القرعة تحكم في العالم الجديد.



إن الاصطفاء الطبيعي لجين صباغ الموجات الطويلة عند رئيسيات العالم الجديد يتم بعملية تعطيل الكروموسوم X، إذ تقوم الخلية الأنثوية عشوائيا بتعطيل أحد الكروموسومين X في مرحلة مبكرة أثناء الحياة الجنينية. وإذا كانت الأنثى تحمل ألائل صباغ مختلفة على الكروموسوم X لديها؛ فإن تعطيل أحد الكروموسومَيْن في كل خلية سوف يُنتج فسيفساء من مخاريط الموجات الطويلة.

المصادفة في العالم القديم.





لدى رئيسيات العالم القديم نوعان من جينات صباغ الموجات الطويلة على كل كروموسوم X. لذا، فإن الخطوة التالية ضرورية وهي اختزال الأنماط الصباغية إلى واحد فقط في كل مخروط. إن عملية تعطيل الكروموسوم X تُلغي فعالية أحد الكروموسومين في خلايا الإناث، عندها وفي خلايا كلٍ من الجنسين، يتفاعل جين منظم يدعى منطقة التحكم الموضعي (LCR)(١) بشكل عشوائي مع جين واحد فقط لصباغ الموجات الطويلة، مؤديا إلى تفعيل هذا الجين دون سواه، مما يؤدي أيضا إلى نمط الفسيفساء العشوائي للخلايا المخروطية.

إنتاج خاصية ثلاثية الألوان لابد من أن نراجع كيفية قيام الخلايا المخروطية بنقل المعلومات حول اللون إلى الدماغ. نجد أنه على الرغم من كون خاصية ثلاثية الألوان ضرورية للرؤية الثلاثية الألوان؛ فإنها ليست إلا شرطا أوليا. في حين أن الخطوة التالية تشمل المعالجة العصبية للإشارات المكونة من قبل المستقبلات الضوئية المختلفة. هذه الخطوة حاسمة؛ لأن الخلايا المخروطية المفردة لا يمكن لها أن تنقل معلومات محددة حول الطول الموجي. إن تنبيه كل مستقبل ضوئي يمكن أن يحرض بمجال متنوع من الأطوال الموجية، ولكن المخروط لا يمكنه أن ينقل الإشارة الخاصة بتحديد الأطوال الموجية التي قام بامتصاصها ضمن الحزمة. على سبيل المثال قد تظهر الخلية المخروطية الاستجابة ذاتها سواء تم تنبيهها بموجة 100 **فوتون**[1] photons التي تمتصها بشكل جيد أو بموجة 1000 فوتون التي تمتصها بشكل ضعيف. وللتمييز ما بين الألوان لابد للجهاز البصري من أن يقوم بالمقارنة بين استجابات المخاريط المتجاورة التي تمتلك أنواعا مختلفة من الأصبغة.

لتحقيق هذه المقارنات على نحو أمثل يجب أن تحتوي كل خلية مخروطية على نوع واحد من الصباغ ولا بد للمخاريط التي تحتوي على أصبغة مختلفة أن تصطف إلى جانب بعضها بعضا بطريقة فسيفسائية. في الواقع، إن كل خلية مخروطية في شبكية الرئيسيات تحوي نمطا واحدا فقط من الأصبغة البصرية، كما لا بد لمختلف أنماط المخاريط من أن تصطف بالضرورة فسيفسائيا. ومع ذلك، فإن كل خلية مخروطية في الرؤية الثلاثية الألوان تحوي جينات للأصبغة الثلاثة جميعها. إلا أنه ليس واضحا تماما كيف تقرر الخلية المخروطية التعبير عن جين صباغ واحد.

تقوم الخلايا بتشغيل جيناتها أو التعبير عن هذه الجينات عن طريق عوامل انتساخ، وهي بروتينات خاصة مرتبطة بالدنا متوضعة قرب منطقة تنظيم تُدعى المحرض، وبالتالي تُطلق سلسلة من التفاعلات المؤدية إلى اصطناع البروتين المكوّد بالجين المعين. يبدو أنه خلال التطور الجنيني تقوم عوامل الانتساخ بتنشيط جين الصباغ S في المستقبلات الضوئية للموجات القصيرة. كما أن بعض العمليات غير المعروفة تمنع التعبير الجيني (المورثي) لأصبغة الأطوال الموجية الطويلة L.

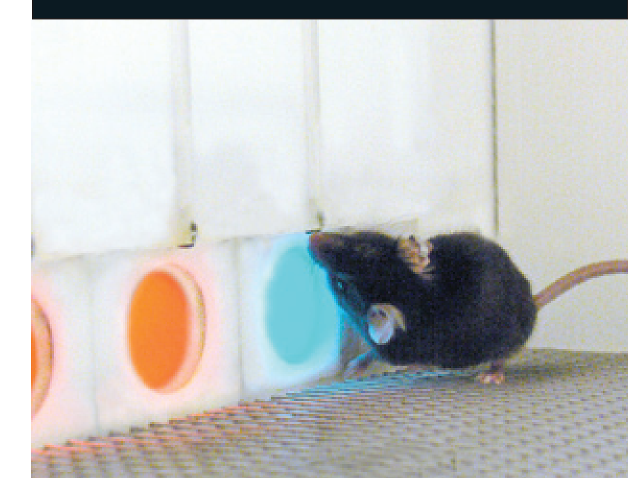
ولكن هناك آلية إضافية تتحكم في التعبير الجيني للأصبغة في مخاريط الموجات الطويلة عند رئيسيات العالم الجديد، وهذه الآلية تتضمن عمليات ذات طبيعة عشوائية. وفي إناث رئيسيات العالم الجديد التي تمتلك ألائل أصبغة مختلفة على كل من الكروموسومين X، فإن اختيار الأليل الذي سيُعبّر عنه من قِبل خلية مخروطية معينة يعتمد على عملية تشبه بعشوائيتها رمي قطعة النقد تُعرف **بتعطيل أو إخماد الكروموسوم X** X-inactivation. وبهذه العملية تقوم كل خلية عند الأنثى بالتعطيل العشوائي لفعالية أحد الكروموسومين X لديها في مرحلة مبكرة من النمو. إن تعطيل

(*) Super Color Vision?

(1) وحدة الكم الضوئي. (التحرير)

رؤية ألوان خارقة؟(*)

لدى بعض النساء أربعة أنماط من الأصبغة البصرية بدلا من ثلاثة. نتج الصباغ الرابع من طفرة حدثت في أحد جينات صباغ الموجات الطويلة المتوضع على الكروموسوم X، ويتميز هذا الصباغ بإزاحته للحساسية الطيفية للشبكية. إلا أنه مازال قيد الدراسة فيما إذا كان هذا الانزياح يخلق القدرة على إدراك مجال أوسع من طيف الألوان، وهكذا فإن الدراسات حول رؤية اللون إلى هذا الوقت لم تقدم دليلا قاطعا عن وجود حالات الرؤية الرباعية اللون، كما أن الأشخاص الذين يمتلكون هذه القدرة (وإن وُجدوا) لا يُدركون بالضرورة امتلاكهم لهذه الصفة البصرية الشاذة.



تعلم الفار المعدل جينا (وراثيا) التوجه إلى اللوحة المختلفة باللون عن اللوحتين الآخريين، مما يبين أنه قادر على رؤية ظلال اللون البرتقالي الذي ليس بمستطاع الفئران الطبيعية أن تُميزه من الأزرق كونها ثنائية الألوان. اكتسب الفار هذه القدرة لأنه يحمل جينا بشريا للصباغ البصري للموجات الطويلة إضافة إلى جيني صباغيه الأصليين (اللذين يمتلكهما). وتُثبت هذه التجربة المرونة الرائعة (القدرة على التكيف) لدماغ الثديات حيث إن بإمكان الفار أن يستعمل هذا الصباغ الجديد من دون امتلاك خلايا عصبية خاصة بتفسير إشاراته.

الكروموسوم X يضمن أن أليلا صباغيا واحدا سوف يتم التعبير عنه (أي إن نمطا واحدا من الأصبغة سوف يظهر) في أي خلية مخروطية ذات الموجات الطويلة. ولأن العملية عشوائية ـ فإن نصف العدد الكلي للخلايا يقوم بالتعبير عن جينات مكودات في أحد الكروموسومين X، في حين يقوم النصف الآخر بالتعبير عن جينات مكودات في الكروموسوم X الثاني ـ كما يضمن أيضا تمازج مخاريط الموجات الطويلة عند إناث رئيسيات العالم الجديد في جميع أنحاء الشبكية ضمن فسيفساء تحقق الرؤية الثلاثية الألوان.

إن تعطيل الكروموسوم X يحدث في جميع الثدييات، ودوره الأساسي هو المحافظة على بقاء النوع ومن دونه فإن الخلايا الأنثوية سوف تستعمل كلا الكروموسومين X لإنتاج البروتينات مما يؤدي إلى إنتاج كميات مختلفة من البروتينات في كلا الجنسين وهذا يؤدي إلى إضعاف تطور أحد الجنسين أو كليهما. ولكن بما أن رئيسيات العالم القديم لديها كلا جيني الصباغ M و L على كل كروموسوم X، فإن عملية تعطيل كروموسوم X وحدها لا تُقلص التعبير الجيني لجين صباغ واحد فقط لكل خلية مخروطية في هذه الحيوانات. لذا لابد من وجود آلية أخرى تؤدي دورا هنا.

تُظهر دراسة قام بها <ناثانز> أن ما يُحدد كون أي من جيني الصباغ المرتبط بالكروموسوم X سيعبِّر عنه في خلية مخروطية عند رئيسيات العالم القديم هو تسلسل الدنا المجاور والمسمى منطقة التحكم الموضعي LCR. من المحتمل أن الاختيار يتم أثناء مرحلة النمو، عندما تتفاعل المنطقة LCR في كل خلية مخروطية مع واحد – وواحد فقط من مُحفزات جيني الصباغ المجاورة إما للصباغ M أو L وليس لكليهما – يحدث تشغيل ذلك الجين. لم يتم بعد توصيف واضح لتفاصيل هذا التفاعل بدقة، ولكن الدلائل الحالية تُرجح أن هذا الاختيار قد يكون عشوائيا.

إذا كان هذا التداخل بين المنطقة LCR والمحفز هو فعلا الذي يحدد التعبير الجيني للصباغ في الخلايا المخروطية، وإذا كان هذا عشوائيا فعلا؛ إذن يكون توزُّع المخاريط M و L في أي منطقة من الشبكية عند رئيسيات العالم القديم مهما كانت صغيرة عشوائيا أيضا. وأظهرت الدراسات التي تمت من قِبل <D. ويليامز> وزملائه [من جامعة روشيستر] أنه ضمن حدود الإمكانات التقنية للطرق الحالية لوضع خرائط توزع الخلايا المخروطية، فإن هذا التنبؤ يبقى قائماً.

الرسام العَرَضي(*)

تشير الدراسات التي تبحث في أساس رؤية الألوان عند الرئيسيات إلى وجود آلية معينة عالية المرونة (مطواعة) لرؤية الألوان ذات الموجات الطويلة في الشبكية والدماغ. وعلى الرغم من وجود دارات خاصة لمقارنة المعلومات البصرية الآتية من المخاريط S، بالإشارات الآتية من مخاريط الموجات الطويلة، فإن كلا من الدماغ والشبكية يبدو ارتجاليا (عفويا) في مقارنة الإشارات الآتية من المخاريط M بتلك الآتية من المخاريط L. وعلى وجه الخصوص يبدو أن الجهاز البصري يُميز بين هذه المخاريط بالتجربة فقط أي بمراقبة استجابة المخاريط للمنبهات البصرية.

وأكثر من ذلك، يبدو أن الطريق العصبي الرئيسي الذي ينقل الاستجابات من مخاريط الموجة الطويلة ليس مكرسا على وجه التحديد لرؤية الألوان فقط. وعلى الأرجح، فإن القدرة على استخلاص المعلومات عن اللون من قِبل المخاريط M و L قد تكون حدثا جيدا حصل مصادفة (عرضيا) من قِبل الجهاز العصبي القديم المسؤول عن الرؤية المكانية العالية

(*) The Accidental Colorist

المؤلفان



Gerald H. Jacobs — Jeremy Nathans

*<**جاكوبس**> هو أستاذ بروفسور باحث في قسم علم النفس ومعهد أبحاث العلوم العصبية بجامعة كاليفورنيا، سانتا باربارا. وهو مؤلف لأكثر من 200 مقال وفصل في كتب حول الجهاز البصري، وقد اكتشف الآلية الجينية (الوراثية) لظهور الرؤية الثلاثية الألوان عند رئيسيات العالم الجديد. <**ناثانز**> أستاذ بروفسور في أقسام: علم الأحياء وعلم الأحياء الجزيئي وعلم الوراثة والعلوم العصبية وطب العيون في كلية الطب بجامعة جون هوبكنز، وباحث في معهد هاورد هيوز الطبي، وقد عمل على دراسة تسلسل جينات الأصبغة البصرية عند البشر، وتركيب البروتينات المقابلة لهذه الجينات.*

الدقة والتي تطورت إلى إمكانية تمييز حدود الأشياء المرئية وبُعدها عن الناظر. يُشير J. مولون<[من جامعة كامبريدج] إلى أن الرؤية المكانية العالية الدقة لدى الرئيسيات تتم بواسطة المخاريط ذات الموجات الطويلة، وتنطوي على المعالجة العصبية نفسها التي تتم من خلالها رؤية الألوان ذات الموجات الطويلة. وهذا يعتبر تشابها بين تنبيه مخروط واحد من النوع L أو M، مع متوسط الإثارة الناجمة عن تنبيه عدد كبير من المخاريط M وL المتجاورة. وحتى الآن لم يُكتشف أي دارات مستقلة خاصة برؤية اللون بواسطة الموجات الطويلة، وربما لا حاجة إلى وجود أي من هذه الدارات، وعلى هذا يمكن اعتبار الرؤية الثلاثية الألوان وكأنها جزء عفوي من منظومة الرؤية المكانية الموجودة مسبقا.

إن فرضية المرونة العصبية في رؤية الألوان تقودنا إلى تساؤل فضولي. ولنا أن نتصور أن الخطوة الأولى في تطور خاصية ثلاثية الألوان عند الرئيسيات تتمثل بظهور أليل ثان لصباغ الموجات الطويلة على الكروموسوم X في إناث السلف لجميع الرئيسيات الحالية. هل يمكن لدماغ الرئيسيات السلف أن يرتجل استخدام الصباغ الجديد من دون تطوير دارة عصبية جديدة؟ وهل لاكتساب نوع ثالث من الأصبغة أن يكون كافيا بحد ذاته لإعطاء بُعْد جديد لرؤية الألوان؟

ويبدو لنا أنه من الممكن التحقق من هذه الفكرة إذا استطعنا إعادة إحداث تلك الخطوة الأولية في تطور ثلاثية الألوان عند الرئيسيات في الثدييات ذات النمط الثنائي الألوان مثل فأر التجارب. بدأنا هذه التجربة بالهندسة الجينية لكروموسوم X للفأر بحيث صار قادرا على تكويد صباغ L البشري بدلا من صباغ M الفأري، ومن ثم صار قادرا على إنتاج الأليل للنمط الذي نعتقد أنه قد حصل منذ ملايين السنين في الرئيسيات الثنائية الألوان. ومن ثم، برهنا أن السلالة الناتجة من هذه الفئران عبرت عن الجين البشري في خلاياها المخروطية وأن الصباغ L البشري قد نقل الإشارات الضوئية بكفاءة مماثلة لكفاءة الصباغ M الفأري. كما أن هذه الفئران التي عبرت عن الصباغ L البشري كانت كما هو متوقع حساسة لمجال أوسع من الأطوال الموجية لذلك المجال في الفئران العادية.

ولكن من أجل الوصول إلى هدفنا طرحنا السؤال الأساسي: هل يمكن لإناث الفئران التي تمتلك جيني صباغ مختلفين على الكروموسوم X استخدام الفسيفساء الشبكية للمخاريط M و L المولدة بعملية تعطيل الكروموسوم X ليس فقط للإحساس وإنما أيضا لجعل تمييز الألوان ضمن ذاك المجال الواسع من الأطوال الموجية؟ الجواب المختصر المفيد هو: نعم إنها تستطيع.

وفي التجارب المختبرية تمكنا من تدريب إناث الفئران التي تمتلك كلا الصباغين M وL على التمييز بين لوحات خضراء وصفراء وبرتقالية وحمراء، وهو الأمر غير الممكن عند الفئران العادية حيث تبدو جميع اللوحات متماثلة عندها. جنبا إلى جنب مع امتلاكها الصباغ L الجديد، يبدو أن هذه الفئران قد حصلت على بُعد إضافي للخبرة الحسية، مما يوحي أن دماغ الثدييات لديه إمكانية فطرية لاستخلاص المعلومات من أنماط مختلفة وجديدة من المدخلات البصرية.

ولهذه النتيجة انعكاسات على تطور الأجهزة الحسية بشكل عام لأنها تشير إلى أن تلك التغييرات على مستوى «النهايات الأمامية» للمنظومة – في جينات المستقبلات الحسية – يمكن لها أن توجِّه تطور المنظومة بكاملها. وفيما يتعلق بالخاصية الثلاثية الألوان عند الرئيسيات، فإن تجربة الفأر تُبين أيضاً أن الرئيسيات الأولية التي تمتلك صباغين لهما أطوال موجية مختلفة، استطاعت أن ترى عالماً من الألوان لم تستطع أن تراه الثدييات الأخرى في أي وقت مضى. ■

مراجع للاستزادة

The Evolution and Physiology of Human Color Vision: Insights from Molecular Genetic Studies of Visual Pigments. J. Nathans in *Neuron*, Vol. 24, No.2, pages 299–312; October 1999.

Genetically Engineered Mice with an Additional Class of Cone Photoreceptors: Implications for the Evolution of Color Vision. P. M. Smallwood et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 100, No. 20, pages 11706–11711; September 30, 2003.

Emergence of Novel Color Vision in Mice Engineered to Express a Human Cone Pigment. G. H. Jacobs, G. A. Williams, H. Cahill and J. Nathans in *Science*, Vol. 315, pages 1723–1725; March 23, 2007.

Primate Color Vision: A Comparative Perspective. G. H. Jacobs in *Visual Neuroscience*, Vol. 25, Nos. 5–6, pages 619–633; September 2008.

Scientific American, April 2009

تعزيز قوة اللقاح[*]

أعادت تبصرات جديدة في النظام المناعي إحياء الاهتمام بإضافة مكونات تستطيع شحن اللقاحات القديمة بقوى فائقة، وتجعل اصطناع لقاحات جديدة تماما أمرا ممكنا.

<N. گارسون> ـ <M. گولدمان>

إن التفكير في التشوهات الولادية الناجمة عن الحصبة الألمانية، وصفوف الرئات الحديدية التي تؤوي الأطفال الذين أصابهم شلل الأطفال بالعجز، والأصوات المرعبة التي تنبعث من الأطفال الذين يصارعون إصابتهم بالشاهوق (السعال الديكي)، هذا التفكير يثير الذعر بين الناس الذين كانوا الشاهد الأول على التدمير الذي أحدثته هذه الأمراض وغيرها من الأمراض التي يمكن توقّيها بالتلقيح. ولحسن الحظ، فإن هذه الهجمات لا تعرفها، من وجهة نظر افتراضية، الأجيال المعاصرة التي أتيحت لها اللقاحات طيلة فترات حياتهم.

لقد أثبتت اللقاحات ولمدة تزيد على مئتي عام أنها من أكثر الطرق نجاحا وإنقاذا للحياة، إضافة إلى جدواها الاقتصادية في الوقاية من الأمراض المعدية؛ ولا يسبقها في ذلك إلا تعقيم المياه. لقد أنقذت اللقاحات حياة الملايين من البشر من الموت المبكر أو من الأمراض المسببة للعجز، وجعلت التخلص من الجدري عام 1979 أمرا ممكنا. والخبراء بالصحة في الوقت الحاضر ملتزمون بالتخلص من شلل الأطفال والحصبة، وربما من الملاريا في يوم ما؛ وذلك على الرغم من أن اللقاح المضاد للملاريا يتطلب، وفق ما سوف نرى، مقاربات جديدة تؤدي إلى نجاح التمنيع.

وإذا تحدثنا على وجه الإجمال، فإن الأساس المنطقي للتلقيح هو أن التعرض لعينة صغيرة من **متعضٍ**[1] **ميكروي** microorganism مسبب للمرض يعلم النظام المناعي البشري تعرّفه والاستعداد لمواجهته عندما يصادفه مرة ثانية. إلا أن اللقاحات الكلاسيكية لا تنجح دائما لدى جميع الناس، ولا تستطيع أن تحمي من جميع الأمراض. فبعض الفئات السكانية مثل كبار السن قد يكون النظام المناعي لديهم أضعف من أن يقوموا بالاستجابة الكافية للقاحات التقليدية. كما أن بعض المُتعضيات المسببة للأمراض كان بوسعها أن تتجاوز الدفاعات المناعية التي حرضتها اللقاحات. والملاريا والسل والإيدز من الأمثلة على الأمراض التي لم تستطع اللقاحات حتى الآن أن تثبت جدواها. ويمكن توسيع نطاق مبادئ التلقيح أيضا لتشمل أمراضا أخرى مثل السرطان والتحسس وألزهايمر، إلا أن هذه التطبيقات قد تتطلب تحفيز النظام المناعي للاستجابة لشيء قد لا يتعرّفه في الحالة السوية أبدا، أو قد يتعرّفه بشكل ضعيف.

وفي جميع هذه الأحوال، فإن منبهات النظام المناعي والتي تعزز قدرة الجسم على تعرف أحد اللقاحات والاستجابة له،

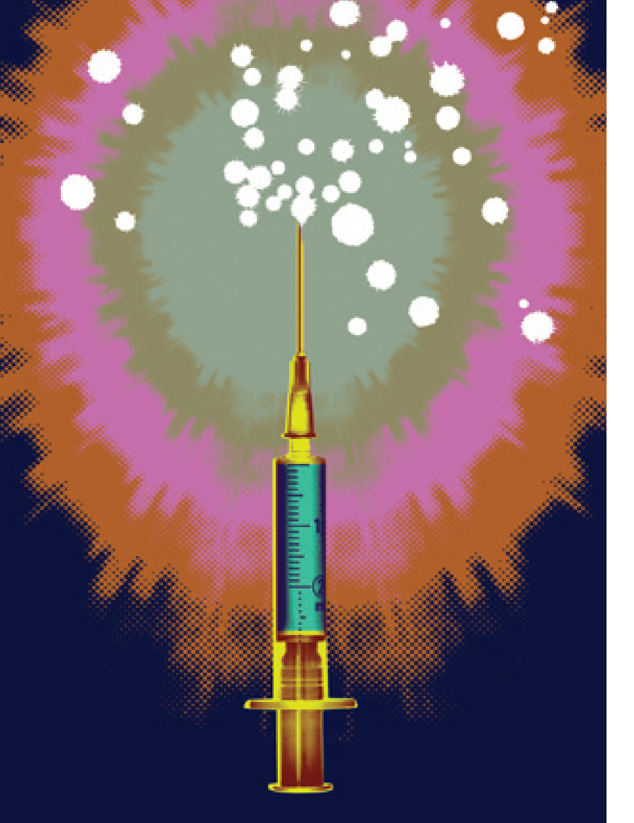
[*] BOOSTING VACCINE POWER

[1] كائن حي.

مفاهيم مفتاحية

- تتمتع اللقاحات بفعّالية بالغة في الوقاية من الأمراض، ولكن ثمة إمكانية لأن تعمل على نحوٍ أفضل، ولدى المزيد من الناس، وضد طيف أوسع من الأمراض.
- أظهرت التطورات التي تم إحرازها في علم المناعة كيف يمكن لأصناف جديدة من «المساعدات» adjuvants، وهي مكوّنات تنبّه الاستجابات المناعية للقاحات، أن تتيح لمصممي اللقاحات استهداف فئات سكانية مخصوصة، ومُمْرِضات pathogens محددة.
- يمكن للمساعدات الجديدة أن تجعل اللقاحات المتوافرة حاليا أكثر فعالية وأن تجعل اللقاحات التي كان يستحيل تطويرها في السابق حقيقة واقعية.

محررو ساينتفيك أمريكان



يمكن أن تنجح. ويطلق على مثل هذه المواد المنبهة للمناعة **المُساعِدات**، واسمها مشتق من الكلمة اللاتينية، adjuvare (وتعني تقديم المساعدة). وبعض هذه المواد معروف منذ أكثر من قرن من الزمن، ويستخدم لتعزيز اللقاحات والمعالجات المضادة للسرطان. وبشكل مشابه للآليات التي تكمن خلف اللقاحات ذاتها، فإن التفاصيل الدقيقة حول كيفية حدوث التفاعل المتبادل بين المساعِدات وبين الخلايا المناعية لم تفهم فهما جيدا حتى وقت قريب من الآن. فقد قدمت التطورات الهائلة في علوم المناعة ولا سيما في العقد الماضي، تبصرات جديدة حول الكيفية التي تنتج من خلالها المساعدات آثارها، وتفتح الطريق لتصميم لقاحات تأخذ في حسبانها احتياجات الناس الذين ينبغي حمايتهم من **المُمْرِضات** pathogens التي ينبغي حماية الناس منها. وقد أصبحت اللقاحات، التي كان يتعذر تركيبها من قبل وبوجود هذه الوسائل الجديدة، في طور الإنتاج، أما اللقاحات المتوافرة فعلياً فقد أصبحت أكثر فعالية ونجاعة (كفاءة).

محاكاة العدوى بقصد تفاديها(*)

تتمتع الكثير من حالات العدوى الطبيعية بفائدة واحدة على الأقل، تتمثل بأنها تؤدي إلى مناعة تدوم طيلة الحياة تجاه المُمْرِض المسبب. ويعمل اللقاح المثالي أيضا على تقديم مثل هذه الحماية الطويلة الأمد، وبجرعة واحدة بالحالة المثلى، وقد يقي أيضاً من التهديدات ذات الصلة، مثل جميع الأفراد المنتمين إلى أسرة لقاح إنفلونزا البشر. ولتحقيق هذه الأهداف ينبغي على اللقاح أن يدرج العديد من العوامل الفعالة في الخلية ضمن النظام المناعي، وهي نفسها العوامل الفعالة التي يتم تنبيهها خلال العدوى الحقيقية.

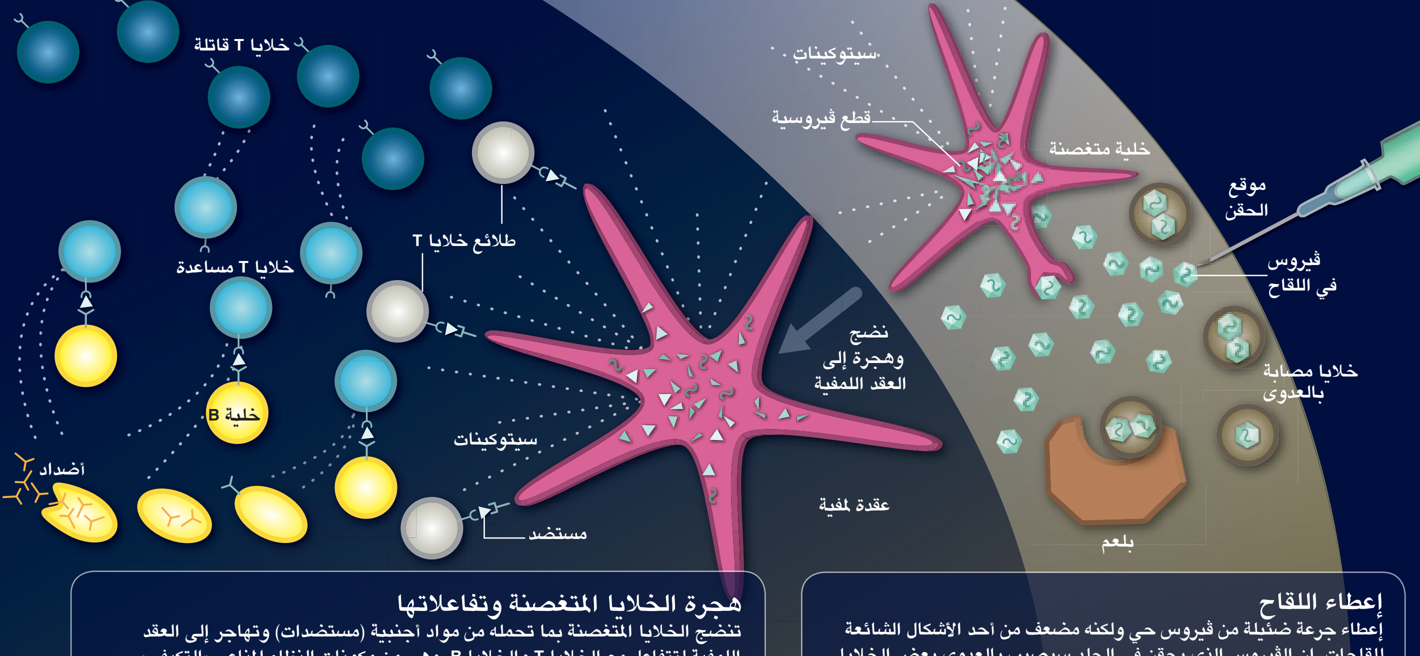
عندما يدخل مُمْرِضٌ **هائج** wild إلى الجسم للمرة الأولى، فإنه يقابل فورا خلايا النظام المناعي الأصلي الجائلة باستمرار بحثاً عن الغزاة. ومن هؤلاء الحراس البلاعم و**الخلايا المتغصنة** dendritic cells التي تبتلع المُمْرِضات مع الخلايا الجسدية المصابة بالعدوى وتدمرها، ثم تفكك هذه الخلايا الحارسة ومن ثم المواد التي هضمتها، وتعرض نماذج من مكونات المواد الداخلية - والتي تدعى **المستضدات** antigens - بحيث تصبح الخلايا الأعضاء في النظام المناعي التكيفي، وهي الخلايا B والخلايا T، متآلفة مع مظهر المُمْرِض. وفي الوقت نفسه، فإن الخلايا التي تعرض المستضدات تطلق مواد كيميائية إشارية تدعى **السيتوكينات** cytokines التي تحرض حدوث الالتهاب، وتنبه الخلايا B والخلايا T لمواجهة هذه الحالة الطارئة.

وما أن تنضج تجمعات الخلايا B والخلايا T التي تكيفت مع مستضد نوعي، حتى تطلق الخلايا B جزيئات **الأضداد** antibodies، وحتى تبحث الخلايا T القاتلة عن الخلايا التي استعمرتها الكائنات الغازية فتدمرها. وتستغرق التفاعلات المتبادلة مع الخلايا التي تعرض المستضدات بضعة أيام حتى يتم تخليق الخلايا B والخلايا T ذات التصميم الخاص، إلا أن مجموعة جزئية منها يمكن أن تبقى في الجسم لتكون **خلايا «ذاكرة»**[1]، ويستمر ذلك في بعض الأحيان لعقود، وتكون جاهزة لإخماد أي محاولة يقوم بها المُتعضي نفسه لعودة العدوى. وتقوم اللقاحات بمحاكاة هذه العملية عن طريق إدخال مُمْرِض بكامله أو أجزاء منه يعرف بأنه كائن غزوي أجنبي. ولا تنجح جميع اللقاحات في توليد استجابة

(*) Mimicking Infection to Avert It
(1) "memory" cell

تحاكي اللقاحات العدوى بقصد تفاديها(*)

تقدم اللقاحات مُمْرِضات مقتولة أو مضعفة، أو قطعا منها، لإطلاق استجابة مناعية تؤدي إلى توليد خلايا «ذاكرة» تقوم بتعرّف المتعضي الميكروي نفسه بسرعة في المستقبَل. ويمكن لهذه الخلايا في المستقبل أن تحصر العداوى الحقيقية أو على الأقل أن تقلل من المرض.



إعطاء اللقاح

إعطاء جرعة ضئيلة من ڤيروس حي ولكنه مضعف من أحد الأشكال الشائعة للقاحات. إن الڤيروس الذي يحقن في الجلد سيصيب بالعدوى بعض الخلايا ويتكاثر ببطء ضمنها. والخلايا المناعية «الأصلية» مثل البلاعم والخلايا المتغصنة تقوم بهضم المواد الأجنبية والخلايا المصابة بالعدوى في الجسم. كما تصدر الخلايا المتغصنة مواد كيميائية بإشارات تدعى السيتوكينات التي تعمل بمنزلة إنذار.

هجرة الخلايا المتغصنة وتفاعلاتها

تنضج الخلايا المتغصنة بما تحمله من مواد أجنبية (مستضدات) وتهاجر إلى العقد اللمفية لتتفاعل مع الخلايا T والخلايا B، وهي من مكونات النظام المناعي «التكيفي». وتحرض الخلايا المتغصنة الخلايا T من خلال عرض المستضد وإصدار السيتوكينات لتصبح ناضجة إلى أنماط من خلايا مساعدة وخلايا قاتلة، وتطلق الخلايا T المساعدة إشارات لتحريض الخلايا T القاتلة على مهاجمة الخلايا المصابة بالعدوى وتحريض الخلايا B لإنتاج الأضداد المصممة خصيصاً للمُمْرِض.

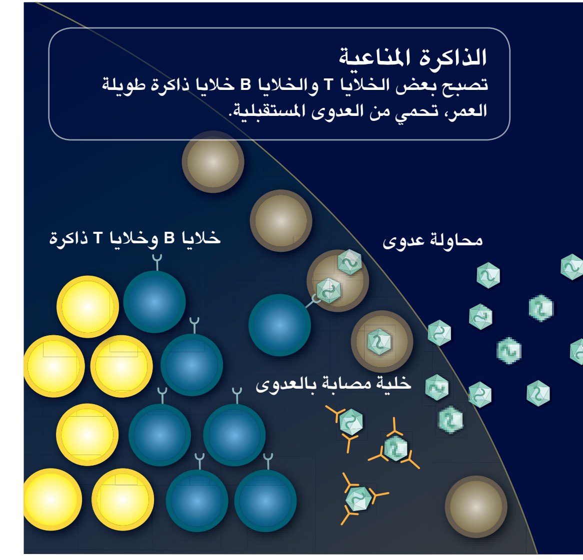
مناعيــة كاملــة، إلا أن بعــض المُمْرِضات قد توقف بواســطة الأضداد فقط، مما يغني عن الحاجة إلى الخلايا T القاتلة للحماية.

ويأخذ مصممو اللقاحات في حسبانهم طبيعة المُمْرِض وكيف يسبب المرض من بين جملــة اعتبارات أخرى عندما يختارون نمط المستضد الذي ينبغي عليهم استعماله. وقد تكــون المواد التي تعطى في اللقاح المعياري بكتيريا أو ڤيروســات حيّــة ولكنها مُضْعَفَة «موهَّنة»، أو تكون نســخا مقتولة أو مُعَطَّلة من مجمل المتعضــي، أو پروتينــات مُنَقَّاة مُشْــتَقَّة من المُمْرِض الأصلي. ولكل اختيار فوائده ومساوئه.

يعــاد إنتــاج اللقاحات الحيــة والمُوَهَّنَة في البــدن ببطء شــديد، إلا أنهــا وبنتيجة هــذا الإنتــاج ومواصلة عرض المســتضد علــى النظام المناعي، يمكــن لهذه اللقاحات إطــلاق اســتجابة مناعيــة طويلــة الأمــد. وبسبب طبيعتهــا المتأصلــة للعدوى لا يمكن اســتخدام اللقاحــات المُوَهَّنَة لــدى الأفراد الذين يعانون ضعف النظــام المناعي الذي قد يصبح مثقلا بالأعباء الثقيلة. إن خطورة حدوث الطفرة في بعض الڤيروسات الحية المضعفة والتي تحولها إلى شكل ذي فوعة تجعــل اللقاحات المُوَهَّنَة ذات خطورة عالية في حال اســتخدام المُمْرِضات المميتة مثل **ڤيروس العوز المناعي البشري** HIV.

أما اللقاحــات الأكثر شــيوعا، فتتألف من جزيئــات من الڤيــروس الكامل المقتول باســتخدام بعــض الطرق، مثل التســخين الحراري. وهذه الجزيئات لا يمكنها التكاثر، إلا أن هذه الپروتينات الڤيروسية تبقى سالمة نســبيا بحيث يمكن لخلايــا النظام المناعي

(*) Vaccines Mimic Infection to Avert It



تعرّفها بسهولة، إلا أن ذلك يتطلب جرعات تعزيزية دورية لتقوية الاستجابة المناعية.

وشكل ثالث هو **اللقاح الجزئي الوحدة** subunit vaccine، والذي يعرض المستضد للنظام المناعي من دون تدخل متعضيات ميكروية، كاملة أو غير ذلك. ويمكن عزل المستضد من المُمْرِض ذاته، أو أن يصنع من خلال **الهندسة الجينية التأشيبية**(1). ولما كانت اللقاحات الجزئية الوحدات لا تتضمن سوى جزء من المُمْرِض، فإنها لا تطلق دائماً العلامات المنذرة بالخطر المطلوبة لتنبيه الاستجابة المناعية المثلى.

وفي السنوات الأخيرة، توصل العلماء إلى تعرف الدور الحاسم الذي تؤديه الخلايا العارضة للمستضدات ولا سيما الخلايا المتغصنة، في تقييم مستوى التهديد الذي يفرضه المُمْرِض وتحديد الاستجابة الضرورية. فعندما تصبح الخلية المتغصنة مثقلة بالمستضدات في موقع العدوى أو في موقع حقن اللقاح، فإنها تنضج وتهاجر إلى العقد اللمفية المجاورة، حيث تبدأ بإطلاق إشارات وتنغمس في تفاعلات متبادلة تؤدي إلى استجابة واقية في الخلايا B والخلايا T. ومن دون مؤشرات الخطر الفريدة لكل متعض من المتعضيات الميكروية، فإن الخلايا المتغصنة تفشل في النضج وفي الهجرة على النحو الملائم، وتتطلب لقاحات جزئية الوحدات في غالب الأحيان عاملا مساعدا ليقوم بدوره بإطلاق العلم الأحمر الذي يحفز الخلايا المتغصنة إلى البدء بالعمل.

وتحتوي معظم اللقاحات التي تستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية في الوقت الحاضر على واحد أو أكثر من أقدم المساعدات، وهو «**الألوم**» alum، وهو مصطلح مختصر يدل على أعضاء عائلة كيميائية من أملاح الألمونيوم. ومع أن «الألوم» قد استخدم في اللقاحات البشرية منذ الثلاثينات، وأنه أثبت فائدته في العديد من اللقاحات الحالية، إلاّ أنه قاصر من حيث كونه مساعدًا في اللقاحات المضادة للأمراض التي تتطلب أكثر من مجرد حماية الأضداد حتى تصبح فعّالة.

يمكن للعديد من المُمْرِضات المعدية المهددة للحياة مثل الڤيروس HIV وڤيروس التهاب الكبد C والمُتَفَطِّرات السلية وطفيليات المتصورات (التي تسبب الملاريا) أن تتجنب الأضداد، ولابد للقاح الفعّال المضاد لهذه المُمْرِضات أن ينبه استجابات قوية للخلايا T. وفي الواقع، لقد أدت الجهود المبذولة لمكافحة هذه المتعضيات والتي تفرض تحدياً هائلاً إلى تحفيز عودة الاهتمام بمساعدات اللقاحات في الوقت الذي تتحقق فيه إنجازات مذهلة في فهم النظام المناعي، وهو الأمر الذي أدى بدوره إلى الحصول على مساعدات أفضل.

عودة النهوض بالمساعِدات(*)

حتى عندما كان الكيميائي الفرنسي <L. باستور> يواجه كلبا مسعورا لاستخلاص اللعاب منه للحصول على أول لقاح مضاد لداء الكلب في الثمانينات من القرن التاسع عشر، كان أحد جراحي العظام في نيويورك يبتكر، دون أن يدري، أسلوباً لتدعيم مجمل

(*) Adjuvant Revival
(**) COMMON VACCINE TYPES
(1) recombinant genetic engineering

الأنماط الشائعة للقاحات(**)

- **مُوَهَّنَة**: ڤيروسات أو بكتيريا كاملة حية ولكنها مضعفة. ويطيل التكاثر الذي هو بحالته الدنيا من فترة تعريض الخلايا المناعية للمستضد من دون أن يسبب المرض.

- **مُعَطَّلة**: كاملة ولكنها «مقتولة» وغير قادرة على التكاثر أو على إحداث المرض.

- **جزئية الوحدات**: قطع من المُمْرِض، مثل بروتينات خارجية أو مادة جينية، تقدم مستضداً للخلايا المناعية لتعرّفه.



الاستجابة المناعية، وهو أسلوب يمكن اعتباره أول استخدام للمساعدات، فقد استأثر باهتمام <W. كولي> [من مستشفى السرطان في نيويورك] تقرير عن الأورام التي يتقلص حجمها أو تختفي برمتها لدى مرضى السرطان الذين يصابون بالعدوى بإحدى الذراري الخاصة من البكتيريا ***العقدية*** *streptococcus*، وهي ***العقدية المُقَيِّحة*** *S. pyogenes*. وانطلاقاً من الحدس بأن التفاعلات المناعية لدى المرضى تجاه البكتيريا قد زادت من قدرتهم على التغلب على الأورام، فقد بدأ بسلسلة من التجارب في عام 1881، فأعطى البكتيريا الحية، ثم في مرحلة لاحقة، عمد إلى تسريب البكتيريا المقتولة إلى مرضى السرطان. وقد حققت هذه المعالجات التي أُطلق عليها اسم «ذيفانات كولي» بعض حالات الهدأة التي أثارت الإعجاب، مع أن كيفية عملها بقيت سرًا لمدة طويلة.

وفي مطلع القرن العشرين ما لبث الباحثون أن نشروا الفكرة التي تدور حول أن البكتيريا والمواد الأخرى قد تحسن من الاستجابة المناعية الطبيعية لدى البشر. وقد أجرى كل من الطبيب البيطري الفرنسي <G. رومان> وعالم المناعة الإنكليزي <G. A. گلني> تجارب مع مواد متنوعة منها التاپيوكا وهيدروكسيد الألمنيوم لتعزيز فعّالية لقاحي الخناق (الديفتريا) والكزاز (التيتانوس) التي تعطى للحيوانات. وخلال عام 1930 وجد علماء آخرون أن المستضدات المستعلقة في مستحلبات الزيت في الماء قد تعزز من قوة اللقاحات. وواصلوا استقصاءاتهم على مواد مستخلصة من البكتيريا مثل **الشحوم المتعددة السكاريدات** (LPS)[1]، وهي أحد مكونات جدار بعض الخلايا البكتيرية. وقد كان للكثير من هذه المواد المضافة تأثيرات مرغوب فيها، ولكن في حالات كثيرة تظهر تأثيرات ضائرة مثل الالتهاب الشديد، مما يجعل من المتعذر التنبؤ بنتيجة هذا الأسلوب.

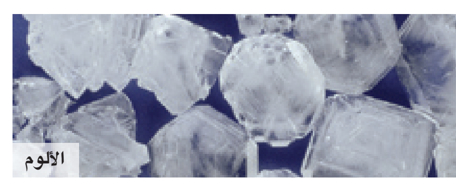
وهكذا تضاءل الاهتمام بأبحاث المساعِدات نتيجة لذلك، حتى عام 1980، عندما ظهر تحدٍ جديد لفيروس استدعى استخدام جميع التكتيكات التي يمكن أن تخطر بالبال. وأثبت الفيروس HIV أنه بعيد جدا عن متناول طرق التلقيح المعهودة. إذ يهاجم هذا الفيروس الخلايا T انتقائيا، ويعيق عمل النظام المناعي التكيفي إعاقة جسيمة، كما أن شكله دائم التغير، بحيث يتعذر على الأضداد أن تتابعه. وكان على الباحثين الذين يعملون على البروتينات المأشوبة للفيروس HIV أن يجدوا طرقاً لتعزيز آلية تعرف النظام المناعي على المستضدات، ويحثهم على محاولة ضم مساعِدات جديدة إليها، وذلك إلى جانب العمل على تحسين هذه المساعدات للحصول على نماذج جديدة منها.

ولعل أضخم الإنجازات التي تحققت في الأبحاث التي تناولت ما حدث عام 1997، وذلك باكتشاف وجود مستقبلات متخصصة بتعرّف الأنماط موجودة في داخل الخلايا المتغصنة وعلى سطحها، وهي مكرسة لتعرّف الأقسام الأساسية في المتعضيات الميكروية، مثل بروتين الفلاگيلين الذي يوجد في أهداب الكثير من البكتيريا. وتطلق هذه المستقبلات التي تكشف المُمْرِضات علامات إنذار تحذِّر الخلايا المتغصنةَ للبدء بالعمل، كما تقدم لها المعلومات حول نمط التهديد الموجود. ومن بين الأسرار الخلوية والمكتشفات الحديثة

المساعِدات الجديدة والقديمة(*)

المساعِدات في اللقاحات المسجلة

- أملاح الألومنيوم «الألوم»
- مستحلبات الزيت في الماء والماء في الزيت.
- نواقل الجسيمات الشحمية (جزيئات ليپيدية)
- جزيئات ڤيروسية (ليپيدات + پروتينات ڤيروسية).
- ڤيتامين E
- ليپيد A وحيد الفسفوريل MPL، وهو مشتق مُنَقًّى من الشحوم المتعددة السكاريدات البكتيرية.


الألوم

مساعدات في طور التطوير والابتكار

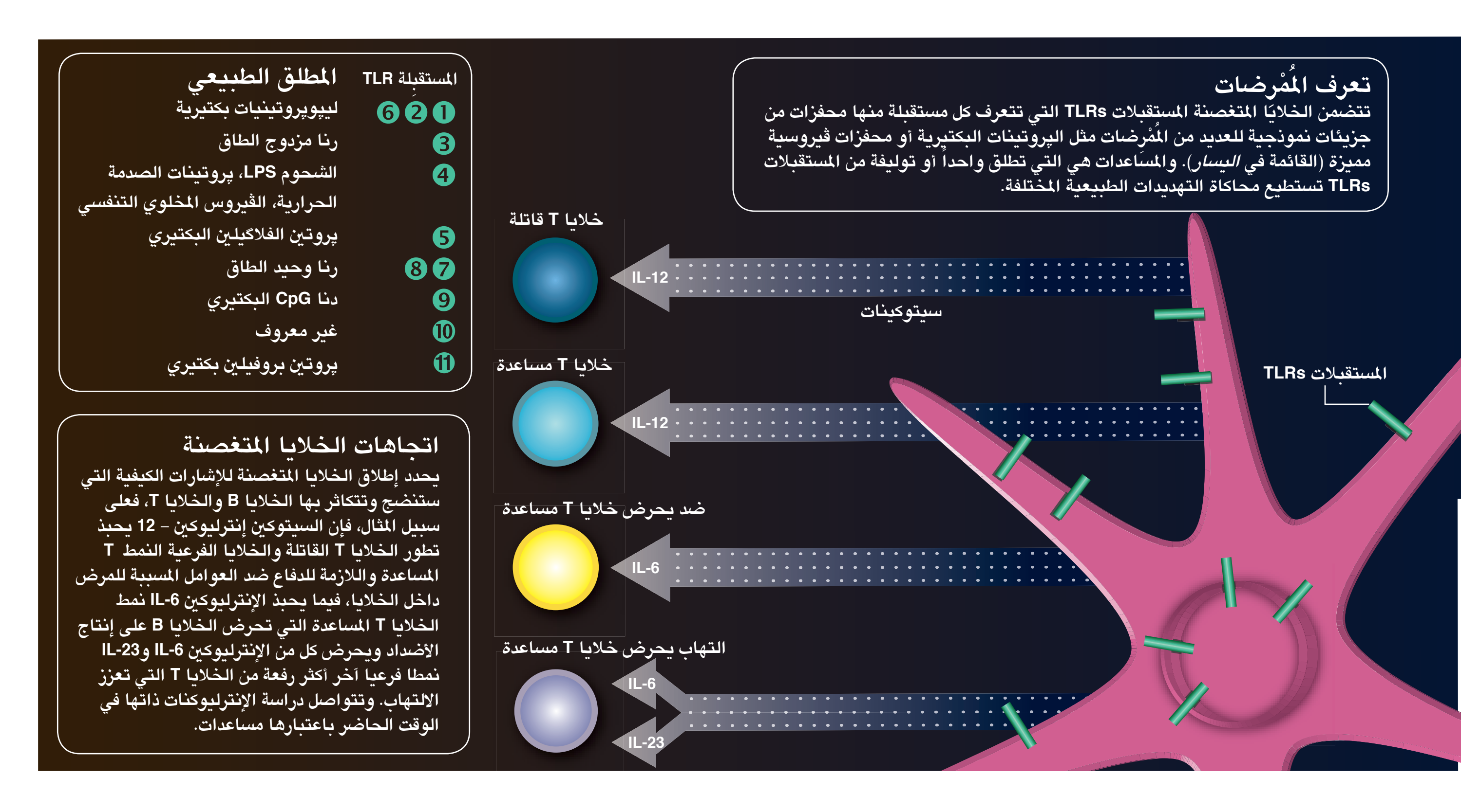
- CpG، الدنا البكتيري الذي تنقصه زمر الميثيل الوصفية للدنا في البشر.
- الصابونين (مستخلص نباتي):
  - QS21
  - Quil A
  - معقدات محفزة للمناعة (الصابونين + أقفاص ليپيدية)
- ڤيروسات بمنزلة نواقل للمستضدات:
  - جدري الطيور
  - جدري البقر
  - جدري الكناري
- جزيئات شبيهة بالڤيروسات، وهي دروع ڤيروسية تتجمع ذاتيا ولا تتضمن مادة جينية.
- إنترليوكينات وجزيئات أخرى مطلقة للإشارات الخلوية.

[معززات اللقاح]

المساعِدات تضيف تأكيدا(**)

تعزز المساعدات الاستجابات المناعية تجاه المستضدات في اللقاح من خلال العديد من الآليات، إلا أن تأثيرها الأعظم قوة قد يكون من خلال تفعيل مستقبلات التعرف الميكروبية على الخلايا المتغصنة. واعتماداً على نمط التهديد الذي تشعر به، فإن الخلايا المتغصنة سوف توجه الخلايا المناعية الأخرى للاستجابة بطرق مختلفة. ويمكن لمصممي اللقاحات استخدام هذه المعارف لاختيار المساعدات التي لا يقتصر تأثيرها في تعزيز الاستجابة المناعية فحسب، بل يتجاوزه إلى تأكيد الاستجابات المرغوب فيها.

(*) ADJUVANTS OLD AND NEW
(**) Adjuvants Add Emphasis
(1) lipopolysaccharide



مجموعة تعرف **بالمستقبلات الشبيهة بالحاجز**(TLRs)[1] والتي تبدو ذات أهمية بالغة لتوجيه سلوك الخلايا المتغصنة [انظر: «*نظام التحذير المبكر*»، **العلوم**، العددان 2/1(2005)، ص 80].

وحتى يومنا هذا تَمَّ تعرّف عشر من المستقبِلات TLRs، ويتعرف كل منها إحدى السمات الأساسية والمختلفة من الفيروسات أو البكتيريا. فالمستقبلة TLR-4 تتعرف، على سبيل المثال، الشحوم LPS، وأما المستقبلة TLR-7 فتسَجِّل **الرنا**(RNA) الوحيد الطاق النموذجي في بعض الفيروسات. وبعد هذه الاكتشافات، صار من الواضح أن المستخلصات المستمدة من البكتيريا تؤدي دور مساعدات منبهة للمناعة؛ لأنها تطلق إشارات إنذار تنبه الخلايا المتغصنة عبر المستقبلات TLRs. وكان اكتشاف هذه الآليات يعني أن على مصممي اللقاحات أن يستخدموا واحداً من المساعدات أو توليفة منها لاستهداف مستقبلات معينة من المستقبلات TLRs.

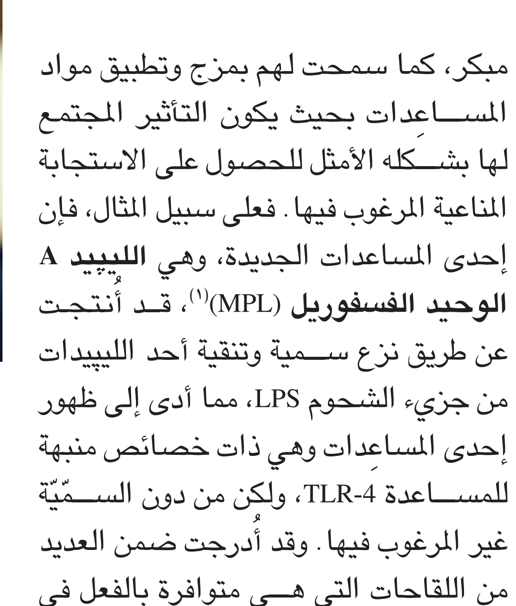
جربنا اللقاح في دراسات صغيرة على البشر، شملت متطوعين كانوا على استعداد لإدخال أذرعهم في صناديق فيها بعوض ناقل للملاريا، وتعرضوا للسع البعوض لعدد لا يقل عن خمس مرات.

الجيل الثاني من اللقاحات(*)

لقد هدفت الأبحاث التي شُرع بها في الثمانينات والتسعينات من القرن العشرين إلى تعرّف المساعدات الطبيعية وتقييمها، إضافة إلى المساعدات الصنعية والمحوّرة، التي يمكن أن تستخدم لتحوير الاستجابة المناعية تجاه المُمْرِضات النوعية أو ضمن بعض التجمعات السكانية. تتضمن هذه المقومات المساعدات التقليدية، مثل «الألوم»، والمستحلبات زيت في ماء، مثل MF59 وAS03، وكلاهما أثبت نجاحه في أوروبا عند استخدامه في بعض لقاحات الإنفلونزا. وللحديث بشكل عام، يمكن للمساعدات أيضا أن تكون أي مادة مركبة كيميائية تُحَسِّن من كمية وجودة الاستجابات المناعية بالعمل على الخلايا المتغصنة أو على غيرها من أنماط الخلايا المناعية.

إن إجراء التجارب والتطورات التي أُحْرِزَت في علم المناعة قد سمحت بالتخلص من العناصر التي تسبب سُمّيّة غير مرغوب فيها في المساعدات التي ظهرت في وقتٍ

(*) Next-Generation Vaccines
(1) the Toll-Like receptors



تتطلب الإنفلونزا الجائحة تلقيح عدد كبير من السكان. ويمكن للمساعدات أن تجعل اللقاحات فعّالة مع كمية أقل من المستضد في كل جرعة، وربما تجعلها واقية ضد ذراري الإنفلونزا التي تختلف اختلافاً طفيفاً عن الذرية الأصلية.

مبكر، كما سمحت لهم بمزج وتطبيق مواد المساعِدات بحيث يكون التأثير المجتمع لها بشكله الأمثل للحصول على الاستجابة المناعية المرغوب فيها. فعلى سبيل المثال، فإن إحدى المساعدات الجديدة، وهي **الليپيد A الوحيد الفسفوريل** (MPL)[(١)]، قد أُنتِجت عن طريق نزع سمية وتنقية أحد الليپيدات من جزيء الشحوم LPS، مما أدى إلى ظهور إحدى المساعِدات وهي ذات خصائص منبهة للمساعدة TLR-4، ولكن من دون السمّيّة غير المرغوب فيها. وقد أُدرجت ضمن العديد من اللقاحات التي هي متوافرة بالفعل في الأسواق أو التي هي في المرحلة الأخيرة من الاختبارات السريرية وبنتائج مشجعة.

ومن بين هذه اللقاحات لقاح تجريبي مضاد للملاريا، ساعد على تطويره أحدنا (‹گارسون›) بالعمل كرئيس لمركز گلاسكو سميث كلين للمواد البيولوجية ولمساعدات اللقاح. ومرض الملاريا ينجم عن طفيليات من الأوالي من جنس المتصورات، وهو مرض خطير يقتل أكثر من مليون شخص كل عام ومعظمهم من الأطفال دون الخامسة من العمر. وتستطيع هذه الطفيليات الاختباء ضمن الخلايا، متفادية بذلك الآليات المناعية. كما أن هذه الطفيليات تتبدل وتتغير مرات عديدة خلال **دورات حياتها**[(٢)]، مما يجعل من العسير كشف مستضد يمكن أن يصلح كهدف فعال للقاح في جميع مراحل العدوى. ومن الأمور المهمة في هذا المجال تنبيه كل من المناعة المتواسطة بالخلايا T وبالأضداد للحماية من هذه الطفيليات، وذلك بالوقاية من دخول الخلايا وبتدمير الخلايا التي أصيبت بالعدوى. وتتطلب هذه المرامي بدورها مساعدات تتجاوز «الألوم».

وقد أخذنا جميع العوامل في الحسبان، فطور فريقنا لقاحا مستندا إلى **مستضد** دعوناه RTS,S، وهو يتضمن اجتماع جزيء مؤشَّب معروض على سطح الطفيلي قبل دخوله إلى خلايا الدم في الإنسان المضيف في المرحلة الأولى من العدوى، وارتباطه بالمستضد السطحي لالتهاب الكبد بقصد تنبيه التعرف المناعي. وبعد ذلك يعطى هذا الجزيء المركب مع مزيج المساعدة التي تتألف من مستحلب «زيت في ماء» و «MPL» و «QS21»، وهو مشتق نباتي يستخدم في الطب البيطري منذ ثلاثينات القرن العشرين. وبعد الوصول بالمستحضر إلى أفضل وضع ممكن، حاولنا مع من نتعاون معهم في معهد «والتر ريد للأبحاث العسكرية» تجريب اللقاح ضمن اختبارات صغيرة على البشر ومنهم متطوعون، وافقوا على إدخال أذرعهم في صناديق تحوي بعوضا ناقلا للملاريا والتعرض للدغاتها عددا لا يقل عن خمس مرات. وقد تحققت حماية ستة من أصل سبعة من هؤلاء الملقحين من العدوى، فيما لم تتحقق الحماية لمن خضع للتجربة نفسها مستخدمين اللقاح مع «الألوم».

لقد ترافقت مختلف اللقاحات التجريبية المضادة للسرطان والتي تستخدم توليفات مختلفة من المساعدات بنتائج مشجعَة.

وقد كان الاختبار النهائي ضمن ظروف الحياة الحقيقية مع تعرض مستمر للطفيلي، إلى جانب تجارب أكبر أجريت في ناميبيا بين البالغين، وقد أثبتت أن 71 في المئة من الملقحين قد تمت حمايتهم من العدوى خلال تسعة أسابيع من المتابعة. كما أوضحت تجارب أجريت في مرحلة متأخرة على الأطفال في المناطق الموبوءة بالملاريا في موزمبيق أن ثلاث جرعات قد أدت إلى حماية 30% من الأطفال من العدوى، وأن معدل وقوع المرض الوخيم في المجموعة على مدى ستة أشهر قد انخفض بمقدار يقرب من

(١) monophosphory1 lipid A
(٢) life cycles

الجيل التالي من اللقاحات(*)

تتضمن اللقاحات المذكورة أدناه مساعدات جديدة، وقد تمت الموافقة عليها في بعض البلدان أو إنها في المرحلة الأخيرة (الطور الثالث) من الاختبارات على البشر.

المرض	اللقاحات	مكونات مساعدة	مرحلة التطوير	الشركة
التهاب الكبد A	Epaxal	Virosomes	موافَق عليه في أوروبا	Crucell
التهاب الكبد B	Fendrix	AS04 (alum, MPL)	موافق عليه في أوروبا	GlaxoSmithKline (GSK)
	Supervax	Synthetic MPL RC-529	موافق عليه في الأرجنتين	Dynavax Technologies
	Heplisav	CpG	الطور 3	Dynavax Technologies
الورم الحليمي الفيروسي البشري	Cervarix	AS04	موافق عليه في 96 بلدا	GSK
الإنفلونزا (الفصلية والجائحة)	Fluad, Focetria	MF59(Oil-in-water emulsion)	موافق عليه في أوروبا	Novatris
	Inflexal V	Virosomes	موافق عليه في أوروبا	Crucell
	Prepandrix, pandemrix	AS03(Oil-in-water,Vitamin E)	موافق عليه في أوروبا	GSK
	Seasonal elderly vaccine	AS03	الطور 3	GSK
الملاريا	Mosquirix	AS01(liposomes, MPL, QS21)	الطور 3	GSK
سرطان الرئة غير صغير الخلايا	Mage 3 vaccine	AS15(liposomes,MPL, QS21, CpG)	الطور 3	GSK
	CimaVax EGF	Montanide ISA-51 (oil-in-water)	موافق عليه في كوبا وتشيلي	Bioven

60%. وتقترب نسـخة محسنة من هذا اللقاح الذي يتضمن **نواقل الجسيمات الشحمية (الليبوزومات)** liposomes من نهاية المرحلة الأخيرة (الطور الثالث) من التجارب السريرية التي تجـرى على الرضع. وباعتبار أنه اللقاح الأول مـن نوعه الذي يثبت معدلات مهمة من الحماية من العدوى مـن الملاريا ومن المرض الوخيم، فقد حمل آمالا كبيرة في الإسهام في مكافحة المرض وضبطه.

وقد أثبت نجاحُ اللقاح إمكانية تصميم لقاح معقول يضم كلاً من المستضد والمساعِدات لتحقيق الاسـتجابة المناعية المرغوبة، وذلك من خلال اصطناع لقاحات جديدة وتحسين اللقاحـات القديمة. فالكثير مـن اللقاحات الموجودة حالياً والناجعة بشـكل عام، ربما لا تكون آمنة أو فعالة في مجموعات سكانية معينة، ومنهم الأفراد الذين هم بحاجة ماسة إليهـا. وتعد الإنفلونزا الموسـمية مثالاً على ذلك، فكبار السن والرضع هم الأكثر تعرضا للعدوى المميتـة بالإنفلونزا، نظرا لأن النظام المناعـي لدى الرضـع غير متطـور تطورا مكتملا، كما أن الاسـتجابة المناعية تتراجع مع تقدم العمر. إن نصف عدد الذين يتلقون اللقاح المعياري المضاد للإنفلونزا ممن تزيد أعمارهم على 65 عاما فقط سـتتكون لديهم كمية من الأضداد تكفي لاتقاء العدوى.

وفـي مقابل ما ذكرنا آنفـا، فإن اللقاح التجريبي للإنفلونزا الموسمية والذي يضمن المسـتحلب زيت فـي مـاء AS03 أدى إلى الحصول على مستويات واقية من الأضداد لـدى 90.5 في المئة من المتلقـين بأعمار 65 عامـا أو أكثر. ولما كانت المسـاعدات تعزز من تعرف الخلايا المناعية المستضدات، فإن بإمكانها أن تسـتخدم فـي صناعة لقاحات فعّالة باسـتعمال كمية أقل من المستضدات. وقـد أصبحت هذه الاعتبـارات أكثر أهمية بشكل خاص في حالة الجائحة التي تتطلب تلقيح أعداد هائلة من السـكان تلقيحا فعالا وبسـرعة. وهناك لقاح تجريبي آخر AS03، مضـاد **لـذراري إنفلونزا الطيـور** H5N1، وهو يحرض استجابات الأضداد الواقية تلك باستخدام ما لا يزيد على ثلث كمية المستضد في لقاح الإنفلونزا الموسمية النموذجية.

وتوضـح هذه الأمثلة أن أنواع اللقاحات الجديـدة القريبة من الاسـتخدام الواسـع

(*) Next-Generation Vaccines

النطاق لدى البشر، هي بسبب عودة إحياء وتطوير المساعِدات في الثمانينات وفي التسعينات من القرن العشرين التي أصبحت تعطي ثمارها الآن. إن ملاحظة العلماء في ذلك الوقت أن القدرة التي تتمتع بها الخلايا المتغصنة في تعرف الأنماط تعد رابطة حاسمة بين النُّظُم المناعية الأصلية والنُّظُم المناعية التكيفية، مما سمح بتصميم أنماط جديدة من المساعدات. وما زال هذا العمل في مراحله المبكرة، ولكنه ذو إمكانية لخلق مخزون كبير من المكونات للمساعدات يمكن لمصممي اللقاحات الانتقاء والاختيار لبناء اللقاحات بدقة لم يسبق لها مثيل.

جيل جديد من المساعِدات(*)

إلى جانب التطورات المحرزة في علم المناعة والبيولوجيا الجزيئية، فقد قدَّم علم المواد الكثير من الطرق الجديدة للحصول على التأثيرات المختلفة للمساعِدات. فنواقل الجسيمات الشحمية تستخدم في الوقت الحاضر لتمحفظ الأدوية وكذلك غيرها من المواد على شكل كبسولات، بحيث تطلق مضمونها في الأنسجة المستهدفة في الجسم في حين تقوم بحمايتها من التدرك. وعند استخدام تلك النواقل لحمل مستضدات اللقاحات؛ فإنها تقدم القدر نفسه من الحماية، وتخلق مخزونا من المستضدات يسمح بتعريض مديد للمستضد إلى الخلايا المناعية. وتشاهد تنوعات تنطلق من هذا المبدأ مثل أقفاص المستضدات البُلمرية التي تصنع من كل من السكاريدات الطبيعية المتعددة، مثل تلك التي توجد في جدران الخلية البكتيرية، ومن البوليستيرات الصنعية. ولهذه المواد فوائد إضافية بإدماج مواد طبيعية أو كيميائية منبهة للمناعة يمكنها إطلاق إشارات مرغوب فيها للخلايا المناعية.

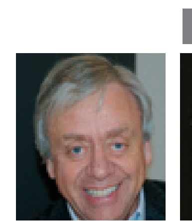
ومع فك شفرة لغة الخلايا المناعية، أدرك العلماء أن الإطلاق الباكر للإشارات من الخلايا المتغصنة لإرسال إنذار، يوجه أيضا طبيعة الاستجابة اعتمادا على طبيعة التهديد الموجود. ومن هنا، فإن بإمكان مُصَمِّم للقاحات أن يصمم من الناحية النظرية توليفات من المساعدات تستدعي حصول استجابة مناعية تؤكد على إنتاج الأضداد أو تثير بعض المجموعات الفرعية من الخلايا T بشكل تفصيلي. وفي الحقيقة، فإن جزيئات إطلاق الإشارات ذاتها هي من بين المواد التي تُجرى عليها التجارب كمساعِدات. وقد استخدم صنف من السيتوكينات لفترة طويلة لتنبيه المناعة في معالجات السرطان والإيدز، وهي المعروفة **بالإنترليوكينات** (IL)[1]، إلا أن الإنترليوكينات تنتج بصورة طبيعية الخلايا المتغصنة، ومن هنا فإن مزيج الإشارات المنطلقة من الخلايا هو الذي يحدد ماهية الاستجابة في الخلايا المناعية، فعلى سبيل المثال، فإن الإنترليوكينات IL-4 و IL-5 وIL-6 تحرض إنتاج الخلايا التائية القاتلة أو الفتاكة، فيما تجند الإنترليوكينات IL-2 و IL-12 الاستجابة بالأضداد.

ويمكن تحقيق تأثير مشابه من خلال المواد المفعّلة للمستقبلات TLRs. وتتعرف المستقبلات TLRs المنتجات الميكروبية، بل إن إحدى هذه المواد وهي TLR-4 تتعرف جزيئات يتم تحررها من الجسم لدى التعرض للشدة النفسية (الكَرب)، وهو ما يعرف **ببروتين الصدمة الحرارية** Heat-shock protein. وبعض توليفات المواد المفعِّلة للمستقبلات TLRs دون أن تكون من المساعدات التي تنتمي إليها، مثل المستحلبات الزيتية، أظهرت تآزرا قويا على نحوٍ خاص في تفعيل الخلايا المتغصنة، وقد أثبتت فائدتها في بعض التطبيقات للقاحات التي تشكل تحديات قصوى.

ومن بين هذه التطبيقات ذات التحديات القصوى السرطان، باعتباره هدفا غير معتاد للقاحات، نظرا لأن السرطان ليس عاملا غزويا أجنبيا، بل إن خلاياه تنشأ من جسد الضحية نفسه المصابة به. ونتيجة لذلك، فإن النظام المناعي

(*) New Generation of Adjuvants
(1) interleukins

المؤلفان



Nathalie Garcon　　Michel Goldman

*<**كارسون**> رئيسة مركز المساعدات العالمي للقاحات في شركة «گلاكسو سميث كلين» للمستحضرات البيولوجية، وهي شركة مصنعة للقاحات. وكان لها الريادة في تطوير العديد من المساعدات خلال العقدين الماضيين. وهي خبيرة بالمستحضرات الصيدلانية متخصصة بالمناعة، وفي عام 1990 انضمت إلى الشركة لتقود برنامجها الخاص بالمساعِدات. <**گولدمان**> أستاذ علم المناعة في الجامعة الحرة ببروكسيل في بلجيكا. له أبحاث حول مراكز المناعة في البشر التي تتحكم في الخلايا المتغصنة وإطلاق الإشارات للمستقبلات TLRs، وهي ضرورية لفعالية اللقاحات ولمساعدات اللقاحات. وحتى الشهر 2009/9، شغل منصب مدير معهد علم المناعة الطبي الذي يتلقى تمويله جزئياً من شركة «گلاسكو سميث كلين». وهو المدير التنفيذي لمبادرة الأدوية المبتكرة، وهي لجنة شراكة أوروبية مع الاتحاد الأوروبي للصناعات الأوروبية.*

وإن كان يبدي بعض الاستجابة للخلايا الورمية، ولكنه نادرا ما يواجه السرطان مواجهة قاضية. وقد لاقت محــاولات تكوين لقاحات علاجية تنبه تفاعلات مناعيــة تجاه الخلايــا الورمية نتائج مخيبة للآمــال؛ إلا أن التوليفــة الصحيحة من المســاعدات قد تنجح في إحداث الفرق. لقد تَمّ إنتاج مجموعة من اللقاحات التجريبية المضادة للســرطان والتــي تســتخدم توليفــات مختلفة للمساعدات وقد أعطت نتائج مشجعة.

ومــن هذه اللقاحات، لقــاح متوافر حاليا في المرحلة الأخيرة من التجارب الســريرية، ويضم **أحــد المســتضدات** يدعى (Mage-A3) الفائــق النوعيــة لبعــض الخلايــا الورمية التــي فيهــا **المســتقبلات** AS15، ومزيج من المساعدات تتألف من نواقل جسيمات شحمية ثابتة وMPL وQS-21 إلى جانب مكون **بكتيري المنشأ** يدعــى CpG. وفــي التجــارب على مرضى مصابين بســرطان الرئة ذي الخلايا غير الصغيرة، اتضح أنه تشــكل لدى 96 في المئــة ممن يتلقى منهم اللقاح اســتجابة قوية للمستضد Mage-A3، إلى جانب مؤشرات إلى إطلاق إشارات للإنترليوكين المرغوب فيه. وقد تمتع ما يقرب من ثلث عدد المرضى باستقرار أو بتراجــع الأورام المصابين بهــا. ويتم في الوقــت الحاضر إجراء دراســة لاســتخدام المكــوّن CpG، إلى جانــب المعالجة الكيميائية والمعالجة الشعاعية لمعالجة أنماط متعددة من الســرطان. ويعد المكــوّن CpG من المحفزات البكتيريــة المتميــزة التي يمكن للمســتقبلة TLR-9 تعرفهــا، وأن تفعِّــل الخلية المتغصنة للحصول على تنشيط لاستجابة قوية للخلايا T. ومن هنا، فإن اســتخدامه على أنه مســاعدة يحاكي المعالجات البكتيرية التي اســتخدمها <كولي> لمرضى الســرطان منــذ فترة بعيدة. وتماشــيا مع ذلك، فإن الشركة التي أسست لتطوير المكــوّن CpG باعتباره مُســاعِدة، قد سميت شركة كولي الصيدلانية.

إن مختلف نظم المساعِدات التي وصفناها تدفــع بحدود الوقاية مــن المرض من خلال التلقيح وجلب الآمال الكبيرة إلى مجالات لم يتم فيها تلبية الاحتياجات الطبية. فقد أظهرت التجارب السريرية الباكرة على المكوّن CpG الذي أضيف إلى مستضد **الركيد** ragweed أن هناك أملاً بالحصــول على لقاح مضاد **لحمــى القــش**[1]. وقــدرة المســاعِدات على تحريــض الدفعــات المناعية التــي تتعرف الــذراري ذات الصلة مــن الإنفلونزا، تقدم إمكانية تكويــن لقاحات ذات طيف أوســع توفــر الحماية مــن الإنفلونــزا. ولأول مرة، صار بمقدور الناس المصابين بالعوز المناعي بســبب مرض أو معالجة كيميائية، الوصول إلى اللقاحات التي يمكنها تحريض الحماية المناعيــة. وربما لا تقدم المســاعِدات جميع الأجوبــة لجميع أوجه القصــور في خزائن اللقاحات المعاصرة، إلا أنها ســتقدم وبكل تأكيد جزءا من الحل.

إن التعامــل مــع النظــام المناعــي عمل حســاس، وبالطبــع فــإن التقييم الحاســم المســتمر لأمان اللقاحات والشفافية في نشر المعلومات الدقيقة حــول اللقاحات من الجيل الثانــي والمســاعدات من الجيــل الثاني أمر ضروري. وســيوجه الفهــم التفصيلي لنمط عمل المســاعدات المدمجة ضمــن اللقاحات الجديدة عملية تطويرها ويوجه اســتخدامها ومراقبتها. ومما يشــجع علــى ذلك أن أكثر اللقاحات الوقائية المتطورة ذات المساعدات لم تبد أي علامات لمشــكلات تبعث القلق، إلا أن على القائمين على تطويرها أن يبقوا يقظين.

ومع تواصل التقدم المحرز في هذا المجال، ســتقوم هذه اللقاحات بخدمــة مجموعات ســكانية فرعيــة محددة وبعــض الأمراض المســتهدفة بطريقــة عقلانية قــد تؤدي إلى الحصول على الحماية المناعية المثلى، وذلك بمراعــاة التوازن ما بين الأمــان والفعّالية. هذا هو تطور اللقاحات في المســتقبل، وهذا المستقبل بات قريبا جدا. ■

(١) hay fever

مراجع للاستزادة

Deciphering Immunology's Dirty Secret: Can Innate Immune Adjuvants Save Vaccinology? Kate Travis in *The Scientist,* Vol. 21, Issue 1, pages 46–51; January 2007.

GlaxoSmithKline Adjuvant Systems in Vaccines: Concepts, Achievements and Perspectives. Nathalie Garçon et al. in *Expert Reviews of Vaccines,* Vol. 6, No. 5, pages 723–739; October 2007.

Vaccine Adjuvants: Current Challenges and Future Approaches. Jennifer H. Wilson-Welder et al. in *Journal of Pharmaceutical Sciences,* Vol. 98, No. 4, pages 1278–1316; April 2009.

Scientific American, October 2009

حربٌ نوويةٌ إقليمية، والمعاناة عالمية(*)

لقد تركز القلق على علاقة الولايات المتحدة الأمريكية بروسيا حول خطر نشوب حرب نووية، بيد أن هذا الخطر لا يزال قائما، إذ يمكن أن يؤدي الصراع ما بين الهند وباكستان إلى حرب نووية إقليمية تحجب أشعة الشمس، وتُجوِّع الكثيرَ من البشر.

<A. روبوك> – <O. B. توون>

مفاهيم مفتاحية

- يمكن أن يؤدي إسقاط قنابل نووية على المدن والمناطق الصناعية في حال نشوب حرب بين الهند وباكستان إلى اندلاع عواصف نارية وحرائق ضخمة، وهذه بدورها ستؤدي إلى إطلاق كميات هائلة من الدخان إلى طبقات الجو العليا.
- وبالنسبة إلى جزيئات الدخان (المتخلفة عن الحرائق السابقة)، فيتوقع أن تظل عالقة في الغلاف الجوي لسنوات طويلة، حاجبة بذلك الشمس، وبقدر ينتظر أن يصبح معه سطح الأرض باردا ومظلما وجافا. وقد يتبع هذا انهيار الإنتاج الزراعي العالمي وحدوث مجاعة جماعية على مستوى العالم، وهذا يعني أن التبريد العالمي قد ينتج من أحد الحروب الإقليمية، وليس فقط بسبب الصراع بين الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا.
- لقد تَمَّ استنباط سيناريوهات التبريد استنادا إلى نتائج النماذج الحاسوبية. بيد أن الملاحظات التي تم استقاؤها من مشاهدات الانفجارات البركانية، وتأثيرات الدخان المتولد من حرائق الغابات وبعض الظواهر الأخرى، تجعلنا على ثقة بصحة هذه النماذج.

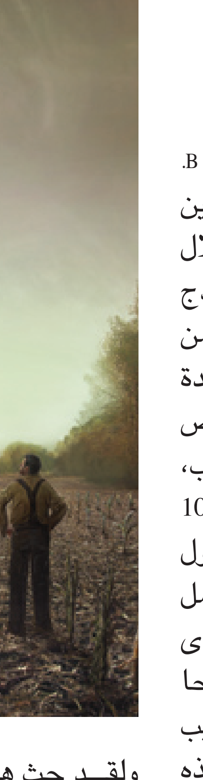
محررو ساينتفيك أمريكان

قبل خمسة وعشرين عاما، بيَّن أكثر من فريق دولي من العلماء أن اندلاع حرب نووية ما بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوڤييتي يمكن أن يؤدي إلى حدوث «**شتاء نووي**» nuclear winter. ذلك أن الدخان الناتج من الحرائق الهائلة الناجمة عن إسقاط القنابل النووية على المدن والمناطق الصناعية يمكن أن يغلف كوكبنا بالكامل، مما يؤدي إلى امتصاص الكثير من أشعة الشمس، ومن ثم جعل سطح الكرة الأرضية باردا ومظلما وجافا، وهذا بدوره سيؤدي إلى هلاك الحياة النباتية في العالم والقضاء على إمداداتنا الغذائية. وفي هذا السياق نفسه سيتوالى انخفاض درجة الحرارة على سطح الأرض، وذلك إلى الحد الذي ستصبح قيمها صيفا مماثلة لما هي عليه شتاءً. وقد أجبر النقاش الدولي الدائر حول هذه التكهنات، الذي غذاه بقوة عالم الفلك الشهير <C. ساگان>، زعيمي القوتين العظميين على مواجهة حقيقة أن سباق التسلح لا يهددهما وحدهما فقط، وإنما يهدد أيضا الجنس البشري كلّه. ومن هنا، أخذت جميع الأقطار، صغيرها وكبيرها، بالمطالبة بنبذ التسلح النووي.

لقد أصبح هاجس الشتاء النووي عاملا مهما في المحاولات الرامية إلى إنهاء سباق التسلح النووي. ويبدو هذا واضحا من الملاحظة التي أبداها رئيس الاتحاد السوڤييتي السابق <ميخائيل گورباتشوف> في عام 2000، وقوله آنذاك «لقد بَيَّنَتْ النماذج التي قام بها العلماء الروس والأمريكيون أن اندلاع حرب نووية سيؤدي إلى حدوث شتاء نووي، وهذا بدوره سيكون مدمرا للغاية لجميع أشكال الحياة على الأرض، وقد شكلت معرفتنا بهول ذلك حافزا كبيرا لنا، ولبقية الشرفاء وذوي الأخلاق، لاتخاذ التصرف اللازم.»

ولكن لماذا يُطرح هذا الموضوع للنقاش الآن وقد وضعت الحرب الباردة أوزارها؟ تكمن الإجابة في أنه كلما زاد سعي الدول الأخرى إلى امتلاك أسلحة نووية، زادت احتمالات أن تؤدي الحروب النووية الإقليمية والصغيرة المتوقع اندلاعها إلى حدوث كارثة عالمية مماثلة لحالة الشتاء النووي. وفي هذا السياق، فقد أوضحت بعض التحليلات الحديثة أنه في حالة نشوب صراع مسلح بين الهند وباكستان، على سبيل المثال، وإسقاط 100 قنبلة نووية خلاله على المدن والمناطق الصناعية – وهو ما يعادل 0.4 في المئة فقط من حجم ترسانة الأسلحة النووية المقدرة بأكثر من 25 000 رأس حربي (نووي) على مستوى العالم – فإن كمية الأدخنة الناتجة سوف تكون كافية لشل وتعطيل قطاع الزراعة العالمي. كما يتوقع أن تُخَلِّفَ – كذلك – الحرب النووية الإقليمية خسائر هائلة في الأرواح، ليس فقط في موقع الصراع، بل أيضا في الأماكن والأقطار الأخرى البعيدة عنه.

(*) LOCAL NUCLEAR WAR, GLOBAL SUFFERING



حرب إقليمية تهدد العالم؟(*)

لقد تمكن كلانا (<A. روبوك> و<B. O. توون>) إضافة إلى بعض الزملاء الآخرين من فريق العمل ومن واقع استغلال إمكانات الحواسيب الحديثة والنماذج (الإحصائية) الخاصة بالمناخ من إيضاح أن الأفكار التي كانت سائدة في ثمانينات القرن الماضي (بخصوص الشتاء النووي) ليست صحيحة فحسب، بل ويمكن أن تمتد تأثيراتها إلى 10 سنوات تالية على الأقل، وهي أطول بكثير مما كان يعتقد من قبل. وبعمل حسابات تقييم الآثار الناجمة على مدى عقود زمنية كثيرة، وهو ما صار متاحا الآن فقط بفضل وجود الحواسيب المتقدمة والسريعة؛ وبتضمين هذه الحسابات وضعيةَ المحيطات وكامل أجزاء الغلاف الجوي – وهو ما لم يكن أيضا ممكنا من قبل – وجدنا أن الدخان المتخلف عن أحد الحروب النووية الإقليمية ستزداد درجة حرارته بفعل الشمس، ومن ثم سيتصاعد إلى طبقات الجو العليا ليبقى معلقا بها لسنوات طويلة، مستمرا بهذا الشكل في حجب أشعة الشمس وانخفاض شديد للحرارة على سطح الأرض.

ولعل النزاع القائم بين الهند وپاكستان، اللتين تمتلكان معا أكثر من 100 رأس نووي، يمثل في الوقت الراهن أكثر هذه النزاعات القابلة للتحول إلى صراع نووي إقليمي. بيد أن هناك دولا أخرى إضافةً إلى الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا (اللتين تمتلكان آلاف الرؤوس النووية) ينبغي أخذها بالحسبان أيضا: فكل من الصين وفرنسا وبريطانيا تمتلك مئات من هذه الرؤوس، في حين تمتلك إسرائيل وحدها أكثر من 80 رأسا، وتمتلك كوريا الشمالية 10 رؤوس، هذا إضافة إلى إيران التي لا يستبعد أن تكون في طريقها لامتلاك رؤوس نووية.

ولقد حث هذا الوضع في عام 2004 أحدنا (<توون>)، وانضم إليه لاحقا <R. توركو> [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] وكليهما من ذوي الخبرة بالأبحاث التي أجريت خلال ثمانينات القرن الماضي في هذا المجال، على البدء بتقييم ما ستكون عليه التأثيرات البيئية العالمية إذا ما اندلعت حرب نووية إقليمية، متخذين في ذلك الصراع بين الهند وپاكستان كحالة دراسية.

وتوضح أحدث التقديرات المقدمة بواسطة <D. ألبريت> [من معهد العلوم والأمن الدولي] والمقدمة كذلك بواسطة <R. S. نوريس> [من مجلس حماية الموارد الطبيعية] أن الهند تمتلك ما بين 50 إلى 60 سلاحا نوويا (إضافة إلى كمية من البلوتونيوم تكفي لصنع 100 رأس إضافي)، في حين تمتلك پاكستان 60 منها، مع العلم بأن هذا الرقم قابل للارتفاع بسبب سعي كلتا الدولتين إلى زيادة حجم ترسانتيهما النوويتين. وتشير الاختبارات التي أجريت على الأسلحة النووية في كل من الهند وپاكستان إلى أن **الناتج التفجيري**(1) explosive yield لهذه الأسلحة سيكون في حدود 15 كيلوطن (أي ما يكافئ 15 ألف طن من المادة TNT المتفجرة)، وهو الناتج التفجيري نفسه للقنبلة النووية التي ألقتها الولايات المتحدة على مدينة هيروشيما.

وقد قام <توون> و<توركو>، مشاركة مع <T. بارديين> [الذي يعمل حاليا في المركز القومي لأبحاث الغلاف الجوي]، بعمل نمذجة لما قد يحدث في حالة إسقاط 50 قنبلة من حجم قنبلة هيروشيما على المناطق والأهداف المدنية الأكثر اكتظاظا بالسكان في پاكستان، و50 قنبلة أخرى على أهداف مماثلة بالهند. وعلى الرغم من قناعة البعض بأن استخدام الأسلحة النووية وقت الحرب سوف يكون محسوبا ومعتدلا، إلا أننا نشك في أن حالة الفوضى والخوف وانقطاع الاتصالات المتوقع حدوثها عشية اندلاع النزاع ستسمح للقادة المعنيين باستخدام الهجمات والأسلحة النووية بطريقة عقلانية ورشيدة. ويبدو هذا الاحتمال هو الأرجح بصفة خاصة لپاكستان، كونها صغيرة المساحة ومن ثم يمكن اجتياحها بسرعة خلال أي قتال تقليدي.

(*) Regional War Threatens the World

(1) الناتج التفجيري هو كمية الطاقة المنطلقة من ناتج تفجير قنبلة نووية واحدة، مقيسة عادة بالكتلة المكافئة من المادة TNT سواء بالكيلوطن (1000 طن TNT) أو بالميگاطن (مليوم طن TNT). (التحرير)

خسائر بشرية(*)

من الممكن لحرب نووية شاملة بين الهند وپاكستان أن تسفر عن إزهاق أعداد كبيرة من الأرواح البشرية محلياً، ووفاة أعداد أكثر في مناطق أخرى في جميع أنحاء العالم.

20 مليون شخص قد يهلكون بسبب الآثار المباشرة لتفجيرات القنابل والحرائق التالية والإشعاع المصاحب.

بليون شخص عبر العالم ممن يعيشون على موارد غذائية محدودة قد يهلكون بسبب المجاعة الناجمة عن انهيار الإنتاج الزراعي المترتب على هذه الحرب.

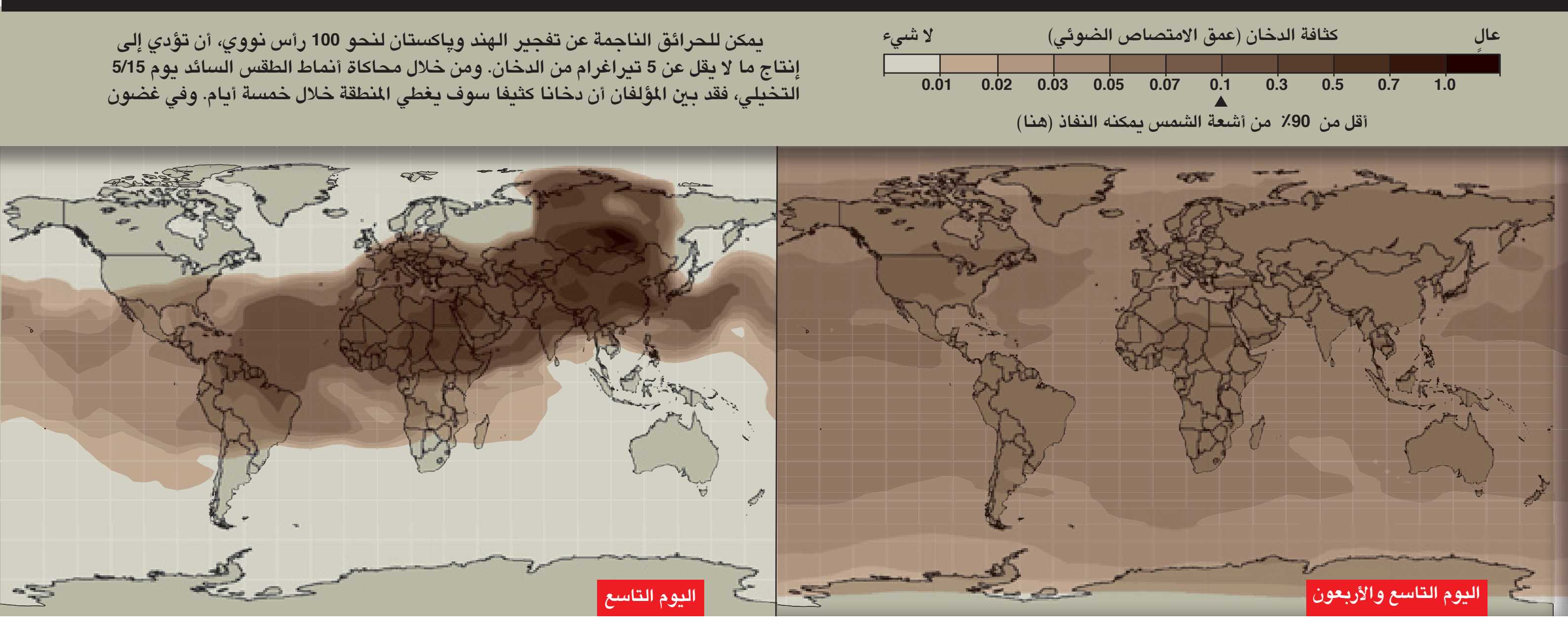
وقد قام <R .P. لاڤوي> [من المدرسة البحرية للدراسات العليا]، على سبيل المثال، بتحليل السبل التي يمكن أن يتطور بها الصراع بين الهند وپاكستان، وحاجج في ذلك أن پاكستان قد تضطر إلى اتخاذ قرار سريع باستخدام كامل ترسانتها النووية وذلك استباقا لقيام الهند باجتياح قواعدها العسكرية بواسطة قواتها التقليدية.

وبديهي أننا نأمل بألا يكون هناك استهداف نووي لأية أهداف في أي حرب قادمة، لكننا نؤمن بأنه يتعين على الساسة والناخبين على حد سواء تعرف ما هو ممكن حدوثه (في حالة اندلاع حرب نووية). وقد وجد <توون> و<توركو> أن أكثر من 20 مليون نسمة يمكن أن يفنوا بالكامل في كلا البلدين (الهند وپاكستان) من آثار الانفجارات والحرائق والإشعاعات النووية المتوقعة، وهو ما يمثل مجزرة مروعة بحق. وقد صُدِم الباحثان من كمية الدخان الهائلة المنتظر تولدها جراء الانفجارات في المدن المكتظة بالسكان في كلا البلدين، حيث قاما بحساب هذه الكمية، على أساس افتراض أن كل انفجار سيتسبب في حَرْق القدر نفسه من المساحة التي احترقت في هيروشيما من قبل، وعلى أساس اعتبار أيضا التقديرات التي توصلت إليها أكثر من دراسة سابقة عن كمية المواد القابلة للاشتعال بالنسبة إلى كل فرد. وتوضح الحسابات التي توصل إليها الباحثان أن إسقاط الخمسين قنبلة السابقة على پاكستان سيخلف ما لا يقل عن ثلاثة تيراغرامات من الدخان، قياسا إلى أربعة تيراغرامات في حالة إسقاط العدد نفسه على الهند (التيراغرام يعادل مليون طن متري).

كما بَيَّن الرصد الفضائي لحرائق الغابات الفعلية أن الدخان يمكن أن يتصاعد إلى أعلى وصولا إلى طبقة التروپوسفير (الطبقة السفلى للغلاف الجوي)، وأحيانا إلى الجزء السفلي من طبقة الستراتوسفير (الطبقة التي تلي التروپوسفير، وتمتد لنحو 30 ميلا). كما قام <توون> و<توركو> بعمل حسابات أخرى إضافية للتأثيرات المناخية الممكن حدوثها عند بلوغ ذلك الدخان طبقة الستراتوسفير، بيد أن ضخامة حجم هذه التأثيرات قد كشفت عن حاجتهما إلى مساعدة أحد المتخصصين بنمذجة المناخ.

ومن حسن الحظ، فقد اتضح أن أحدنا (<روبوك>) كان قد عمل في السابق مع <L. أومان> الذي يعمل حاليا في مركز گودّارد لرحلات الفضاء التابع لوكالة ناسا والحاصل على الدكتوراه في التأثيرات المناخية للانفجارات البركانية من جامعة روتگرز. كما

(*) HUMAN TOLL



يمكن للحرائق الناجمة عن تفجير الهند وپاكستان لنحو 100 رأس نووي، أن تؤدي إلى إنتاج ما لا يقل عن 5 تيراغرام من الدخان. ومن خلال محاكاة أنماط الطقس السائد يوم 5/15 التخيلي، فقد بين المؤلفان أن دخانا كثيفا سوف يغطي المنطقة خلال خمسة أيام. وفي غضون

الهند في مواجهة باكستان(*)

يمكن أن يـؤدي وابل من الهجمات النووية المتبادلة بين الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا إلى غمس الأرض في شتاء نووي كامل، بيد أن الصراعات الإقليمية يمكن أن تؤدي إلى النتيجة نفسها أيضا. فالهند وباكستان، اللتان هما دائما على خلاف، يمتلك كل منها أكثر من 50 رأسا نوويا. لذا، فإنه يمكن في حالة إسقاط جميع هذه الذخائر على المدن والمناطق الصناعية في كلتا الدولتين، أن يتسبب الدخان الناتج في إعاقة النشاط الزراعي على مستوى العالم لمدة عشرة أعوام كاملة. وفي هذا يشار إلى قدرة الصواريخ الباليستية في كلتا الدولتين على الوصول إلى غالبية أراضي البلد الآخر، ذلك وإن لم يكن كلها.



المدى الصاروخي التقريبي (مقيسا بالأميال)
— المدى الفعلي
-- المدى قيد التطوير

هناك، على المستوى العالمي تسعة بلدان تمتلك أسلحة نووية. وبإمكان أي من هذه البلدان - باستثناء كوريا الشمالية وإيران - في حالة استخدامها لجميع ترسانتها النووية، أن تُعَرِّض المدنية بأكملها للخطر.

المصدر: مجلس حماية الموارد الطبيعية

البلد	عدد الرؤوس النووية
روسيا	15,000
الولايات المتحدة	9,900
فرنسا	350
الصين	200
بريطانيا	200
إسرائيل	80
باكستان	60
الهند	50
كوريا الشمالية	10>
إيران	قيد التطوير؟

عمـل، كذلك، مع <G. L.> ستينتشـكوف [من جامعة روتگرز أيضا] مؤلف أول عمل روسي عن الشـتاء النووي. و قد اشترك كلاهما في تطوير نموذج مناخي، يمكن بسهولة إلى حد ما، استخدامه وتطبيقه في تعرف آثار الانفجارات النووية والحسابات المتعلقة بها.

وباتباع نهج تحفظي ومعتدل، قام <روبوك> وفريق العمل بتطبيق نموذج المناخ هذا على أساس تصاعد خمسة تيراغرامات من الدخان فقط إلى الجزء العلوي من طبقة التروبوسفير فوق كل من الهند وباكستان، وذلك حال اندلاع حرب نووية في توقيت تخيلي هو «يوم 5/15». وبناء على هذا، قام النموذج بمحاكاة كيفية تحرك وتوجيه الرياح السائدة للأدخنة المتصاعدة إلى أماكن أخرى عبر أرجاء العالم، وكذلك محاكاة الكيفية التي ستترسب بها جزيئات الدخان من الغلاف الجوي. وتبعا لمخرجات هذا النموذج، فقد

قد تلجأ باكستان إلى استخدام ترسانتها النووية مستبقةً قيام الهند باجتياح قواعدها العسكرية.

الدخان يغلف الأرض، حاجبا الشمس(**)

تسعة أيام سيمتد السخام soot الناتج حول بقية أرجاء العالم. وبعد مرور 49 يوما فإنه سيكون بمقدور جسيمات الدخان تغليف المعمورة بالكامل، حاجبة من أشعة الشمس ما يكفي لجعل السماء تبدو في جميع الأماكن ملبدة على الدوام.

ستقوم النيران المشتعلة من أثر تفجيرات القنابل بتصعيد أدختنها إلى أعلى خلال الغلاف الجوي لتصل إلى طبقة التروبوسفير في غضون يومين. عندئذ، ستقوم الشمس بتسخين الجسيمات الدقيقة للأدخنة المتصاعدة، مسببة بذلك تصعيدها إلى طبقة الستراتوسفير. وفي ظل هذه الظروف، لن يكون ممكنا هطل الأمطار، ولذا، سيتعين على هذه الجسيمات الانتظار قرابة عشر سنوات كي يمكنها الترسب والاستقرار كليا على سطح الأرض. أما الدخان الموجود في طبقة التروبوسفير، فإنه سيتلاشى ويختفي تماما من هذه الطبقة في غضون أسبوع أو نحو ذلك.

الثيرموسفير
85 كيلومترا
الميزوسفير
50 كيلومترا
الستراتوسفير
12 كيلومترا
التروبوسفير
اليوم الثاني
اليوم التاسع والأربعون
اليوم الخامس

(*) INDIA VS. PAKISTAN
(**) SMOKE CLOAKS THE EARTH, BLOCKING THE SUN

ما الذي يدعونا إلى تصديقها(*)

يعتقد بعض الناس أن نظرية الشتاء النووي التي ظهرت في ثمانينات القرن المنصرم، قد باتت بلا مصداقية. ومن ثَمّ، قد يستغرب هؤلاء تأكيدنا من جديد على إمكانية أن تؤدي حرب نووية إقليمية – وإحداهما متوقعة بين الهند وباكستان– إلى تدمير الإنتاج الزراعي في مختلف أرجاء العالم. ولكن نظرية الشتاء النووي الأصلية قد تم التحقق منها بدقة على أي حال. كما أن الأساس العلمي الخاص بهذه النظرية قد تم تدعيمه بواسطة الاستقصاءات التي أجرتها الأكاديمية القومية للعلوم، والدراسات التي قامت بتمويلها وزارة الدفاع الأمريكية وكذلك المجلس العالمي للاتحادات العلمية، الذي يضم ممثلي 74 أكاديمية علمية وطنية ومؤسسات علمية أخرى.

لقد نُشرت أبحاثنا الحالية في مجلات علمية محكمة. ومع ذلك، يبدو أننا الوحيدون المتابعون للأبحاث حول الأخطار البيئية للتبادلات النووية. وإننا ندعو آخرين لتقييم وإعادة الحسابات لنتائج استعار حرب بين قوى عظمى ولنتائج حروب نووية إقليمية.

خيم الدخان المتصاعد على جميع قارات العالم خلال أسبوعين فقط. كما قامت الأدخنة السوداء والسخام المتصاعد بامتصاص أشعة الشمس، مما أدى إلى تسخينها ومن ثم ارتفاعها إلى طبقة الستراتوسفير. وفي ظل هذه الظروف، لا يتوقع أن يسقط أي مطر، وهذا بدوره يعني إلغاء الدور الذي تؤديه تساقطات الأمطار في تنظيف الجو وتطهيره من السخام والأدخنة العالقة به، إذ سيتعين على جزيئات الدخان التساقط ببط شديد، في ظل مقاومة الهواء لسقوطها. علما بأن حجم **حبيبات السخام** soot particles صغير للغاية، ومتوسط قطرها لا يزيد على 0.1 ميكرون (μm) فقط، لذا فإن تساقطها إلى الأسفل عادة ما يكون بطيئا جدا. وإضافة إلى هذا، فإن تسخين الشمس لهذه الحبيبات يوميا، سيؤدي إلى ارتفاعها إلى أعلى أثناء النهار، وهذا بدوره سيمثل عاملا معيقا ومكررا لإزالتها من الجو. وقد بينت نتائج النمذجة أيضا أن جزيئات الدخان يمكن لها أن تصل إلى ارتفاعات أعلى بكثير في طبقة الستراتوسفير العليا من تلك التي تستطيع جزيئات السلفات (الكبريتات) الناجمة عن الانبعاثات البركانية العرضية بلوغها. وهذا يعود إلى كون جزيئات السلفات شفافة مما يؤدي إلى امتصاصها لقدر أقل من ضوء الشمس مقارنةً بما يمتصه السخام، وهي أيضا أكبر حجما، إذ يبلغ قطرها في العادة 0.5 ميكرون (μm)، ولهذا تمكث الجسيمات البركانية في الجو قرابة عامين، في حين يمكن لجزيئات الدخان والسخام الناتج من حرائق القنابل النووية أن تبقى عالقة به طيلة عقد زمني كامل.

صقيع قاتل في الصيف(**)

وفضلا عما سبق، فقد كانت الاستجابة المناخية للانبعاثات الدخانية مذهلة، إذ تقلص ضوء الشمس بطريقة فورية، مسببا تبريدا وخفضا كبيرا في درجة الحرارة على سطح الأرض وبشكل لم يعهده كوكبنا طوال الألف سنة الماضية. وقد استمرت حالة التبريد العالمي هذه والبالغ متوسط انخفاض الحرارة خلالها، 1.25 درجة مئوية (ما يعادل 2.3 درجة فهرنهايت)، لسنوات عدة متتالية. وحتى بعد مرور عشر سنوات على هذا، لم تعد درجة الحرارة إلى معدلاتها الاعتيادية، بل بقيت دون هذه المعدلات بنحو 0.5 درجة. وبحسب نتائج النمذجة، فقد انخفضت أيضا معدلات هطل الأمطار على مستوى العالم بنحو 10%. كما حدث تقلص مماثل في رطوبة التربة وتدفقات الأنهار المائية. وهذا يعود في الأساس إلى تقلص معدلات التبخير ومن ثَمّ إضعاف الدورة المائية كنتيجة مباشرة لحجب ضوء الشمس. كما تبين أن الجفاف تركز بشكل واسع في **المناطق الجغرافية السفلى (القريبة من خط الاستواء)** lower latitudes، وهو ما يمكن إرجاعه إلى دور التبريد العالمي الحادث في تثبيط عمل نموذج <هادلي> **لدورة الرياح والتيارات الهوائية** Hadley air circulation pattern فوق المناطق الاستوائية، والمسؤول عن هطل نسبة كبيرة من تساقطات الأمطار العالمية. علما بأن نسب التقلص في تساقطات الأمطار قد تبلغ 40% خاصة في المناطق الحرجة، كما هو حال مناطق **المونسون**[1] **الآسيوية** Asian monsoon.

وعلى الرغم من أن التبريد الحادث قد يبدو لأول وهلة غير مسؤول عن كل هذا، إلا أن أي تغير به حتى ولو كان طفيفا يمكن أن يقود إلى نتائج قاسية. إذ بإمكان التبريد وحجب ضوء الشمس على سبيل المثال، أن يؤديا إلى تقلص فترة نمو المحاصيل في **المناطق الجغرافية الوسطى (المحصورة بين المناطق القطبية والمناطق المدارية)** midlatitudes. هذا ويمكن تعرّف تداعيات التبريد بشكل أكثر من واقع رصد المشاهدات التي تعقب الانفجارات البركانية الضخمة، حيث لوحظ أن كل انفجار بركاني من هذه النوعية يؤدي إلى تبريد مؤقت لمدة عام أو عامين. ويعد انفجار بركان تامبورا بأندونيسيا في عام 1815، أكبر الانفجارات

(*) WHY BELIEVE IT
(**) Killing Frosts in Summer
(1) مونسون: رياح موسمية عادة ما تنشط في الصيف تسبب عواصف قوية وأمطارًا غزيرة على منطقة جنوب شرق آسيا. (التحرير)

الحادثة خلال الخمسمئة عام الماضية، حيث تسبب في حجب ضوء الشمس وإحداث تبريد عالمي بمقدار نصف درجة مئوية طيلة عام كامل، بحيث اشتهر عام 1816 التالي، بأكثر من اسم مثل «السنة بلا صيف» أو «ألف وثمانمئة وتجمد حتى الموت». وفي منطقة نيوإنگلند (في الولايات المتحدة الأمريكية) وعلى الرغم من انخفاض متوسط درجة الحرارة في الصيف درجات عدة قليلة لا أكثر، إلا أن موجات الصقيع المهلكة للمحاصيل قد وُجِدَت طوال الموسم، بحيث لم يكد المزارعون ينتهون من إعادة زرع محاصيلهم بعد موجة الصقيع الأولى، ليفاجؤوا بموجة صقيع ثانية تعاود عليهم الكرة وتهلك محاصيلهم مجددا. ومن هنا، فقد ارتفعت أسعار الحبوب بشكل جنوني، كما تهاوت أسعار المواشي بشدة، نتيجة اضطرار عدد كبير من المزارعين إلى بيع مواشيهم، وبسبب عدم قدرتهم على توفير أعلاف أو أغذية مناسبة لها. كما حدثت هجرة جماعية من نيوإنگلند إلى منطقة الغرب الأوسط، نتيجة تواتر أنباء وتقارير عديدة عن تدهور خصوبة الأراضي الزراعية هناك. وفي أوروبا، كان الطقس أيضا باردا للغاية ومعتما دائما، وذلك إلى الحد الذي تسبب بانهيار سوق الأوراق المالية، وحدوث أكثر من مجاعة واسعة فيها، وبقدر ألهم الفتاة ذات الثامنة عشرة ربيعا <ماري شيلي> إلى كتابة روايتها الشهيرة المعروفة باسم «*فرانكنشتين*»[(1)] *Frankenstein*.

وبالطبع، هناك أنواع معينة من سلالات المحاصيل الزراعية كما هو حال **القمح الشتوي** winter wheat، يمكنها تحمل الانخفاض في درجة الحرارة، لكن لا يمكنها تحمل غياب ضوء الشمس، إذ من دونه لا تستطيع النمو أو الإنبات. ووفق السيناريو السابق ذكره، فإن بإمكان ضوء النهار أن يخترق سديم ضباب

[التداعيات البيئية للغبار النووي]

انهيار الزراعة[(*)]

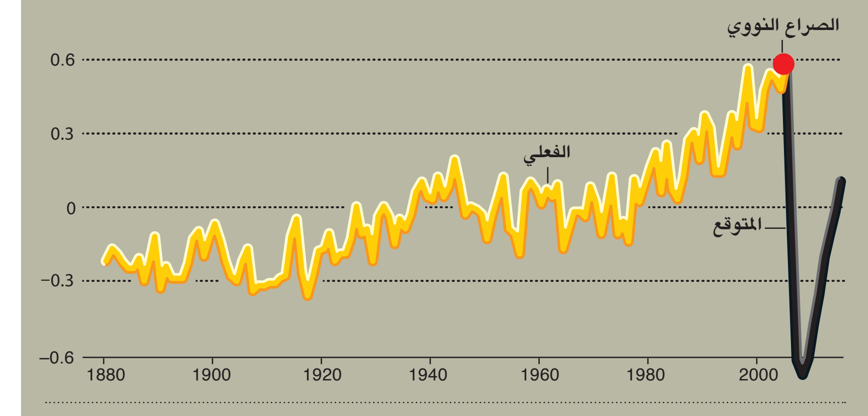
إن تغليف الأرض بخمسة تيراغرامات من الدخان يمكن أن يسبب خفضا في درجة الحرارة وزيادة في مستويات الأشعة فوق البنفسجية، مما يعرض محاصيل العالم الزراعية للخطر.

درجة الحرارة

من المنتظر أن ينخفض متوسط درجة الحرارة السطحية عالميا بمقدار 1.25 درجة مئوية، وبعد مرور عشر سنوات يتوقع أن تبقى درجة الحرارة أقل من معدلاتها المعتادة بنصف درجة. علما بأن هذا الانخفاض سيحفز كذلك على حدوث موجات صقيع أثناء فصل الصيف.

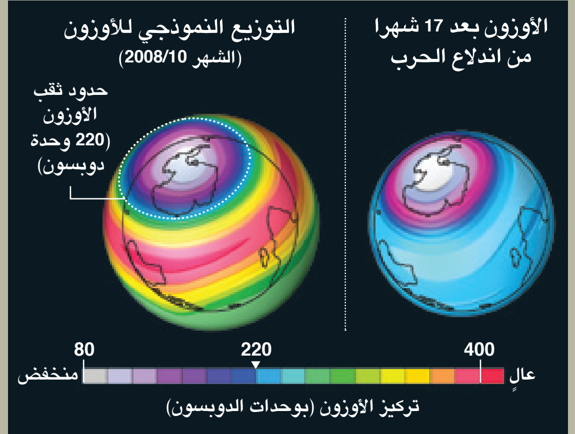
من الاحترار العالمي إلى التجمد السريع

التباين في درجة الحرارة (بالدرجة المئوية) تبعا لمتوسط الحرارة خلال الفترة من 1951- 1980.



استنفاد الأوزون

من المنتظر أن يمتص الدخان من أشعة الشمس ما يكفي لتسخين طبقة الستراتوسفير بشدة، الأمر الذي سيؤدي إلى سحب أكاسيد النتروجين إلى أعلى، وهذا بدوره سيقلل من تركيز الأوزون (الموجود في طبقة الستراتوسفير). وكنتيجة لذلك، فإن ثقب الأوزون الذي عادة ما يحدث سنويا فوق القطب الجنوبي (*الشكل المقابل في اليسار، باللون الأرجواني والأزرق الغامق*) سيعم جميع الأرض (*الشكل المقابل في اليمين*)، مما سيسمح بنفاذ مستويات خطرة من الأشعة فوق البنفسجية إلى سطح الأرض.





تدمير المحاصيل

من المنتظر أن يؤدي اضمحلال أشعة الشمس وانخفاض درجة الحرارة وزيادة الجفاف إلى تقليص مدة الفصول الملائمة للزراعة. كذلك، فإن الصقيع الحادث في غير موعده ونفاذ كميات متزايدة من الأشعة فوق البنفسجية من خلال طبقة الأوزون المتهالكة، سوف يلحق ضررا إضافيا بهذه المحاصيل. وبناء على هذا، يتوقع أن ينخفض إجمالي الناتج الزراعي العالمي بشكل حاد وفوري مما تسبب في تعطيل تجارة الأغذية. الشكل أعلاه: آثار موجة البرد المفاجئة التي حدثت في عام 2007 وتسببت في تدمير 70 في المئة من محصول كاليفورنيا من الليمون الحمضي.

(*) Agriculture Collapses

(١) رواية تنتمي إلى قصص الرعب، وتدور حول العالم «فرانكينشتين» الذي حاول صنع مخلوق لخدمة البشرية، بيد أن هذا المخلوق تحول إلى وحش قاتل وكابوس مزعج. وقد تُرجمت هذه الرواية إلى لغات عدة وتحولت إلى أعمال سينمائية، وحازت مؤلفتها <ماري شيلي> شهرة عالمية بسبب هذه الرواية، على الرغم من أنها لم تؤلف قصصا أخرى غيرها.





الأحداث الحقيقية مثل الثورات البركانية المتفجرة وحرائق الغابات الضخمة تساعد على التحقق من نتائج المحاكاة (الحاسوبية) التي تحاول التنبؤ بتداعيات الحرب النووية. في عام 1991 قذف بركان جبل بيناتوبو الرماد أميالا إلى أعلى في الهواء (*الشكل في اليمين*)، وقد أدى هذا بدوره إلى إحاطة كوكبنا في حينه بطبقات مميزة من الجسيمات البركانية (*الشكل في اليسار*).

الدخان المتراكم في طبقات الجو العليا، إلا أن الوضع بالقرب من سطح الأرض سيكون مختلفا تماما، حيث ستبدو جميع الأيام مظلمة وملبدة تماما بالغيوم. وبالطبع لن يكون بمقدور المهندسين الزراعيين ولا المزارعين تطوير البذور المطلوبة أو تعديل الأساليب والممارسات الزراعية بما يتلاءم مع الظروف الجديدة والمختلفة جذريا عما هو معهود، اللهم إلا إذا كان لديهم علم مسبق بما هو متوقع.

وإضافة إلى التبريد والجفاف والإظلام الناتج، سيترتب أيضا على ذلك استنفاد طبقة الأوزون بشكل واسع، وهذا بسبب ارتفاع درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير بفعل الدخان، ذلك أن التفاعلات المسؤولة عن عملية إنتاج الأوزون وتكسره تعتمد في الأساس على درجة الحرارة. وقد قام J.M.‹ ميلز› [من جامعة كولورادو في بولدر بالولايات المتحدة الأمريكية] بتطبيق نموذج آخر للمناخ منفصل ومختلف تماما عن ذلك النموذج الذي استخدمه ‹روبوك›، إلا أنه توصل – مع ذلك – إلى نتائج مماثلة لتلك التي أظهرها نموذج ‹روبوك› بخصوص تصاعد الدخان إلى الأعلى وتغيرات درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير. وقد خلص ‹ميلز› إلى أنه على الرغم من ضآلة مقدار الانخفاض الحادث في درجة الحرارة على سطح الأرض، إلا أن طبقة الستراتوسفير يمكن أن تتعرض للتسخين بأكثر من 50 درجة مئوية نتيجة امتصاص جسيمات الدخان السوداء لأشعة الشمس. وهذا الاحترار سيؤدي بدوره إلى تغيير طبيعة الرياح في طبقة الستراتوسفير، وهو ما سيؤدي بالتبعية إلى حمل أكاسيد النيتروجين المدمرة للأوزون إلى الأجزاء العليا من الستراتوسفير. كما ستتسبب المستويات المرتفعة لكل من درجة الحرارة وأكاسيد النتروجين في تقليص كمية الأوزون إلى المستويات الخطرة نفسها التي عادة ما نصادفها كل ربيع فوق ثقب الأوزون في القارة القطبية الجنوبية. أما على الأرض، فسوف تزيد كمية الأشعة فوق البنفسجية بشكل ملحوظ نتيجة اضمحلال طبقة الأوزون.

كما ينبغي ملاحظة أن تقلص ضوء الشمس ونسبة الأمطار وزيادة موجات البرد، وقِصَر مواسم النمو، وزيادة كمية الأشعة فوق البنفسجية، كل ذلك سوف يؤدي بالتبعية إلى تقلص الإنتاج الزراعي على مستوى العالم وربما القضاء عليه. وستكون تأثيرات التبريد وفَقْد الأوزون، أوضح ما يكون بصفة خاصة في **المناطق الجغرافية العليا** high latitudes (البعيدة عن خط الاستواء) و**المناطق الوسطى** middle latitudes (المحصورة بين المناطق القطبية والمناطق المدارية) في نصفي الكرة الأرضية، في حين ستكون نسبة التقلص في نسبة الأمطار أكبر ما يكون فوق **المناطق الاستوائية** tropics.

وبطبيعة الحال، فإن الأضرار النوعية الناتجة من كل تغير بيئي من التغيرات البيئية السابق ذكرها تعتمد على نوعية المحاصيل المزروعة، وطبيعة التربة وأسلوب الزراعة السائد في كل منطقة من المناطق المتأثرة، كما ستعتمد على أنماط الطقس الإقليمي السائد، علما بأنه لم يُمَكّن لأي باحث تقييم أنماط الاستجابة الزراعية المترتبة على مثل هذه التغيرات بشكل كامل أو مفصل. وحتى في الظروف المعتادة، فإن توفير الغذاء للأعداد المتزايدة من السكان



الرئيسان الأمريكي «باراك أوباما» والروسي «ديمتري ميدڤيدوڤ» يوقعان في الشهر 2009/7 اتفاقية لتحديد عدد الرؤوس النووية الاستراتيجية التي يحق لكل دولة نشرها. وبطبيعة الحال، فإن أي خفض إضافي في ترسانة البلدين، يمكن أن يشكل دافعا لجميع الدول النووية الأخرى على خفض أسلحتها النووية بما يعني تقليص حجم هذه الأسلحة بشكل جذري عالميا.

يعتمد بطبيعة الحال على نقل الأغذية عبر الأقاليم المختلفة في أنحاء الأرض من أجل تعويض نقص الإنتاج الزراعي الحادث بسبب الجفاف وتغيرات الطقس الموسمية. بيد أن كمية الحبوب المخزنة في كوكب الأرض حاليا لا تكفي لتغذية سكان الكوكب سوى لنحو شهرين فقط [انظر في هذا العدد: «*هل يمكن لنقص الأغذية أن يؤدي إلى انهيار الحضارة*»]. وإضافة إلى هذا، فإن الإمدادات المتاحة من المواد الغذائية في معظم المدن والدول لا تكاد تكفيها سوى لفترة قصيرة جدا، ومن هنا فقد ارتفع العجز الغذائي (وكذلك الأسعار) بصورة ملحوظة خلال السنوات الأخيرة. إذن، يمكن لأي حرب نووية أن تتسبب في تقلص الإنتاج الزراعي في كل جهة تقريبا من أنحاء المعمورة دفعة واحدة، وفي هذه الحالة لا يستبعد أن يؤدي الذعر العالمي الحادث إلى توقف نظام التبادل الزراعي العالمي، وحدوث نقص حاد في المحاصيل في أماكن عديدة. ومن واقع جميع ما سبق، فإن ما يقرب من بليون نسمة ممن يعيشون حاليا على إمدادات غذائية محدودة في أنحاء العالم، سوف يكونون مهددين مباشرة بخطر المجاعة في حالة نشوب حرب نووية إقليمية ما بين الهند وباكستان أو بين أي قوى إقليمية نووية أخرى.

مطلوب دليل مستقل(*)

عادةً ما يقوم العلماء باختبار النماذج والنظريات العلمية، عن طريق إجراء التجارب الواقعية، ولكن في حالتنا هذه، فمن البديهي أنه لا يمكننا القيام بذلك، لذا كان علينا اللجوء إلى أمثلة واختبارات **مناظرة** analogues يمكن بواسطتها التحقق من صحة نماذجنا (المناخية).

مدن محروقة. لسوء الحظ، فقد اتضح أن **العواصف النارية** firestorms الناتجة من التفريغ الشديد للطاقة تؤدي في العادة إلى ضخ كميات هائلة من الدخان إلى طبقات الجو العليا. فقد احترقت مدينة سان فرانسيسكو من قبل بسبب زلزال عام 1906، كما احترقت أكثر من مدينة بالكامل خلال الحرب العالمية الثانية، بما في ذلك مدن درسدن وهامبورگ وطوكيو وهيروشيما وناگازاكي. وهذه الأحداث تعزز من فكرة أن الدخان الناتج أثناء الحرائق المدنية الكثيفة يمكنه الوصول إلى طبقات الجو العليا.

دورة الفصول. في غمرة فصل الشتاء يمكننا بوضوح ملاحظة أن المناخ أبرد مما هو عليه في بقية الفصول، ويعود هذا إلى كون فترة النهار أقصر، وإلى كون أشعة الشمس أقل سطوعا وشدة. هذه الحقيقة المجردة قد ساعدتنا على تقييم تأثيرات تقلص الإشعاع الشمسي بطريقة كمية. وفي هذا السياق، فإن نماذجنا المناخية بما لها من قدرة على إعادة بناء دورة الفصول بشكل جيد، قد أكدت على وجود تباين واضح في مقدار الإشعاع الشمسي بين كل فصل وآخر.

الانفجارات (البركانية). هناك أمثلة عديدة لثورات وانفجارات بركانية ضخمة سابقة يمكن الخروج منها بأكثر من درس مستفاد، ومن ذلك انفجار بركان تامبورا في عام 1815، وكراكاتوا في عام 1883، وپيناتوبو في عام 1991. وخلال هذه الانفجارات، قامت الرياح بنقل **سحب الإيروسولات الكبريتية** sulfate aerosol clouds التي تشكلت في طبقة الستراتوسفير، إلى أرجاء مختلفة عبر العالم. كما حدث انخفاض سريع في درجة الحرارة على سطح الأرض بعد كل انفجار بركاني وبمقدار تناسب مع سمك السحابة المتكونة. وبعد انفجار بركان پيناتوبو، انخفض متوسط درجة الحرارة على المستوى العالمي بنحو 0.25 درجة مئوية، كما انخفضت أيضا نسبة تساقطات الأمطار العالمية، والتدفقات المائية بالأنهار ورطوبة التربة. وهذا ما بينته بالفعل نماذجنا (المناخية)، إذ استطاعت

إن السبيل الوحيد لإلغاء احتمال حدوث كارثة مناخية هو إلغاء الأسلحة النووية ذاتها.

(*) Independent Evidence Needed

محاكاة واستنتاج جميع هذه التأثيرات.

حرائق الغابات. في بعض الأحيان يمكن للدخان المتصاعد من حرائق الغابات الضخمة الارتفاعَ عاليا وبلوغ طبقة التروپوسفير، بل وإلى الجزء السفلي من الستراتوسفير، كما يمكنه الانتقال إلى مسافات كبيرة جدا مسببا تبريد الحرارة على سطح الأرض (كما سبق شرح ذلك). وهذا أيضا ما أوضحته نماذجنا (المناخية)، إذ أمكنها استنتاج هذه التأثيرات بشكل جيد.

اندثار الدينوصورات. قبل 65 مليون عام من الآن، ضرب نيزك ضخم شبه جزيرة يوكاتان المكسيكية مخلفا **سحابة غبارية** dust cloud ضخمة ومجموعة من الحرائق ودخانا كثيفا، أسهمت جميعا في حجب أشعة الشمس، ومن ثم فناء الدينوصورات. كما يحتمل أن تكون الانفجارات البركانية الضخمة التي حدثت في الهند في وقت متزامن قد أسهمت أيضا في تفاقم الآثار الناجمة. وهذه الأحداث تعلمنا على أي حال أنه بإمكان الكميات الكبيرة من الهباء الجوي والأيروسولات الموجودة في الغلاف الجوي تغيير المناخ بشكل جذري وبدرجة تكفي لهلاك أعتى الأجناس.

وعلى هذا النحو، فقد لجأنا إلى هذه الحالات المتناظرة لاختبار نماذجنا المناخية وتحسين قدراتها، لكننا نأمل أن يتمكن الآخرون من تطوير هذا وبذل مزيد من العمل. وفي هذا الإطار، فإننا نؤكد أن نتائج النماذج الأخرى المستقلة سواء توافقت مع نتائج نموذجنا المطبق هنا أم تعارضت معها، سوف تكون مرشدة للغاية وبناءة. أيضا، فإن إجراء دراسات تقييم الأثر الزراعي وهو ما لم يمكننا القيام به هنا، سوف يكون محل ترحيب.

الحظر: السياسة الوحيدة(*)

ينطوي مفهوم الشتاء النووي لدى العامة على أكثر من انطباع خاطئ. أحد هذه الانطباعات يقوم على إنكار التأثيرات المناخية للشتاء النووي، وهذا أمر غير صحيح [*انظر العمود في يمين الصفحة 46*]. ومن الانطباعات الخاطئة أيضا الاعتقاد أن العالم سيواجه خريفا - وليس شتاء - نوويا في حالة اندلاع حرب نووية. بيد أن الحسابات التي أجريناها مؤخرا تشير إلى أن التأثيرات المناخية الناجمة عن صراع إقليمي ستكون قاسية وواسعة الانتشار. أيضا، فإن النماذج والحواسيب التي كانت مستخدمة في ثمانينات القرن المنصرم لم يكن بإمكانها محاكاة عملية تصاعد الدخان للغلاف الجوي وبقائه فيه، كما لم تكن قادرة على محاكاة طول الوقت اللازم لعودة المحيطات إلى سابق حالة الدفء التي كانت عليها، وذلك بعد انقشاع الدخان، لكن النماذج الحديثة بقدرتها على تقييم آثار الحرب النووية والتفاعلات الواسعة النطاق الحادثة خلالها تتوقع - في المقابل - شتاءً وليس خريفا نوويا.

ثمة انطباع آخر خاطئ يتمثل بالاعتقاد أن مشكلة الشتاء النووي، حتى وإن وجدت في السابق، فقد انتهت بنهاية سباق التسلح النووي. ولكن الواقع يشير إلى إمكانية حدوث شتاء نووي في أي وقت وبسهولة بسبب وجود الترسانتين النوويتين الأمريكية والروسية والمقرر بقاؤهما حتى عام 2012. وفضلا عن ذلك، فإن تزايد عدد الدول النووية يزيد من فرص نشوب حرب نووية سواء بصورة مخطط لها أم بصورة عرضية. وعلى سبيل المثال، فقد هددت كوريا الشمالية بإعلان الحرب في حال قيام العالم بإيقاف سفنها وتفتيشها للتأكد من عدم حملها مواد نووية. ولحسن الطالع، فإن كوريا الشمالية لا تمتلك في الوقت الراهن أسلحة نووية جاهزة للاستخدام، بيد أنه قد يمكنها بلوغ هذا الهدف في المستقبل القريب. وأيضا، دعا بعض الزعماء المتطرفين في الهند إلى مهاجمة پاكستان بالأسلحة النووية إثر الهجمات الإرهابية الأخيرة على الهند. ونظرا لقدرة الهند على اجتياح الأراضي الپاكستانية بسرعة بقواتها التقليدية، فمن الوارد في هذه الحالة أن تلجأ پاكستان إلى مهاجمة الهند

(*) Abolition: The Only Policy

(١) the Intergovernmental Panel on Climate Change

المؤلفان



Alan Robock — Owen Brian Toon

*<**روبوك**> أستاذ علم المناخ في جامعة روتگرز ومدير مساعد بمركز التنبؤ البيئي التابع للجامعة، حيث يقوم بدراسة جوانب عديدة تتعلق بالتغير المناخي. وهو أيضا زميل الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية وأحد أعضاء اللجنة الدولية للتغير المناخي (IPCC)(١). أما <**توون**&gt، فيرأس قسم علوم الغلاف الجوي والمحيطات في جامعة كولورادو بمدينة بولدر، كما أنه زميل مختبر فيزياء الغلاف الجوي والفضاء في الجامعة. وهو زميل الجمعية الأمريكية للأرصاد والرابطة الأمريكية للجيوفيزياء.*

بأسلحة نووية استباقا لاعتداء الهند عليها. كما هددت إيران بتدمير إسرائيل، التي تعد هي الأخرى قوة نووية، والتي تعهدت بدورها بعدم السماح لإيران بأن تصبح دولة نووية. والواضح أن كل دولة من الدول المذكورة في الأمثلة السابقة تعتقد أن وجودها قد يكون عرضة للتهديد الكامل وبنذر قليلة. لذا فهي تُعدُّ من بؤر الصراع ومن الوارد انفجارها بشكل مفاجئ في أي وقت.

والواضح أيضا أن الحرب النووية الأولى قد صدمت العالم بشدة وذلك إلى الحد الذي لم يتم فيه استخدام الأسلحة النووية مرة أخرى، وهذا على الرغم من التخزين الهائل لهذه الأسلحة منذ ذلك الحين. ولكن السبيل الوحيد لإلغاء إمكان حدوث كارثة نووية مناخية يكمن في إزالة الأسلحة النووية ذاتها. أيضا، فإن الإسراع في خفض الترسانتين النوويتين - الأمريكية والروسية - يمكن أن يشكل مثالا يحتذى به لبقية العالم بأنه لا يمكن واقعيا استخدام الأسلحة النووية، ومن ثم لا حاجة إليها.

وقد تعهدت كل من الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا، بموجب معاهدة تقليص استخدام الأسلحة الهجومية الاستراتيجية، بخفض عدد الرؤوس الحربية النووية الاستراتيجية إلى ما بين 1700 و2200 مع نهاية عام 2012. وفي الشهر 7/2009 اتفق كل من الرئيس ‹أوباما› والرئيس الروسي ‹ديمتري ميدڤيديڤ› على إجراء خفض إضافي في عدد الرؤوس النووية الاستراتيجية وتقليصها إلى ما بين 1500 و1675 وذلك بحلول عام 2016. ومع أن خفض حجم الترسانات النووية الاستراتيجية يعتبر من الأمور التي تستحق الإشادة، إلاّ أن النتائج الأخيرة التي توصلت إليها دراستنا تبين أنه حتى في ظل هذا الإجراء، فإن عدد الأسلحة المتاح حاليا يكفي تماما لتدمير الزراعة على الصعيد العالمي، وهذا هو المتوقع في حال نشوب حرب نووية إقليمية. أما إذا ما تم استخدام جميع مخزون الأسلحة النووية ضد أهداف مدنية، فسوف يؤدي هذا إلى قتل مئات الملايين من البشر ونشر كمية هائلة من الدخان تقدر بـ180 Tg (1Tg = 1012 g) في طبقة الستراتوسفير؛ هذا فضلا عن انخفاض متوسط درجات الحرارة في مناطق الزراعة الرئيسية إلى أقل من درجة التجمد حتى في فصل الصيف وذلك لعدة سنوات متتالية. وعلى هذا المنوال، فإنه يمكن حتى لعدد محدود من الرؤوس الحربية الموجودة على ظهر غواصة نووية واحدة حاملة للصواريخ أن يسفر عن إنتاج كمية من الدخان تكفي لإحداث كارثة بيئية عالمية.

لعل انتشار الأسلحة النووية وعدم الاستقرار السياسي واختلال التركيبة السكانية يمثل في المجمل أحد أعظم الأخطار التي تهدد استقرار المجتمع البشري منذ فجر تاريخه. لذا، فإن مجرد إزالة الأسلحة النووية سيحول دون تحقق أحد الكوابيس المحتملة. كما أن التقليص الفوري للترسانتين النوويتين للولايات المتحدة وروسيا إلى المستوى الذي عليه القوى النووية الأخرى (أي بضع مئات فقط لا غير) سيحافظ على فكرة الردع المتبادل، وسيقلل كذلك من احتمال حدوث شتاء نووي، كما سيشجع سائر بلدان العالم على مواصلة جهودها من أجل التخلص من هذه الأسلحة.

ويبدو أن الرئيس ‹أوباما› يدرك هذا المنطق، إذ عَبَّر في أول مؤتمر صحفي له بتاريخ 2009/2/9، أي بعد توليه مقاليد الرئاسة، عن هذا بقوله «إنه من المهم للولايات المتحدة، بالتناغم مع روسيا... أن نواصل محادثاتنا حول كيف يمكننا البدء بتقليص حجم الترسانة النووية في كلا البلدين بطريقة فعالة، وبما يمكننا من المضي قدما وإقناع بقية الدول من أجل التكاتف والعمل معا للوصول إلى معاهدة تحظر انتشار الأسلحة النووية.» وبعد ذلك، وتحديدا بتاريخ 2009/9/24 من العام نفسه، قاد الرئيس ‹أوباما› مجلس الأمن في هيئة الأمم المتحدة إلى قبول مشروع قرار، يمكن أن يشكل نقلة مهمة على طريق تسريع الجهود الرامية إلى تخليص العالم من الأسلحة النووية. وفي هذا الإطار، فإننا نعتقد أن نتائج النمذجة التي توصلنا إليها تمثل دعما للأسباب المؤيدة لهذه السياسة وسبيلا لتحقيق مزيد من التقدم فيها. ■

مراجع للاستزادة

Consequences of Regional-Scale Nuclear Conflicts. Owen B. Toon, Alan Robock, Richard P. Turco, Charles Bardeen, Luke Oman and Georgiy L. Stenchikov in *Science,* Vol. 315, pages 1224–1225; March 2, 2007.

Climatic Consequences of Regional Nuclear Conflicts. A. Robock, L. Oman, G. L. Stenchikov, O. B. Toon, C. Bardeen and R. P. Turco in *Atmospheric Chemistry and Physics,* Vol. 7, No. 8, pages 2003–2012; April 2007.

Nuclear Winter Revisited with a Modern Climate Model and Current Nuclear Arsenals: Still Catastrophic Consequences. Alan Robock, Luke Oman and Georgiy L. Stenchikov in *Journal of Geophysical Research,* Vol. 112; July 2007.

Massive Global Ozone Loss Predicted following Regional Nuclear Conflict. Michael J. Mills, Owen B. Toon, Richard P. Turco, Douglas E. Kinnison and Rolando R. Garcia in Proceedings of the *National Academy of Sciences USA,* Vol. 105, No. 14, pages 5307–5312; April 2008.

Environmental Consequences of Nuclear War. Owen B. Toon, Alan Robock and Richard P. Turco in *Physics Today,* Vol. 61, No. 12, pages 37–42; December 2008.

Scientific American, January 2010

بزوغ الشبكات اللاسلكية الفورية(*)

سوف تتيح الشبكات اللاسلكية، التي لا تعتمد على بنية تحتية ثابتة، اتصالات في كل مكان[1] بغض النظر عن الظروف.

<M. إفّروس> — <A. گولدسميث> — <M. مِدارد>

في حقبة **الفيسبوك والتويتَّر والآيْفون**[2] هذه، من السهل الافتراض أن مقدرتنا على الاتصال بأي مكان من العالم هي شيء بديهي. إلاّ أن الاتصالات تصبح حرجة جدا في الأوقات التي تنهار فيها بنيتها التحتية. ففي جزيرة هاييتي، مثلا، كانت الهواتف الفضائية التي قدمتها وكالات الإنقاذ وسيلة الاتصال الرئيسية طوال الأيام التي أعقبت الزلزال المأساوي الذي ضرب هذه الجزيرة في بداية هذا العام. وحتى في الظروف العادية، يمكن لانقطاع الكهرباء أن يعطِّل البنية التحتية للشبكات الخلوية عن العمل، مما يجعل تجهيزات اتصالات حالات الطوارئ مجرد أثقال لمنع الأوراق من التطاير.

في مثل تلك الظروف، فإن الخيار الذي يلقى قبولا متزايدا هو إنشاء **شبكة مخصصة لمواجهة هذه الظروف**[3]. تتكوَّن شبكة كهذه تلقائيا وسنسميها شبكة تلقائية حيثما تكون ثمة هواتف خلوية أو أي وسائل اتصالات أخرى، مبرمجةٌ لهذا الغرض، ضمن مدى الاتصال فيما بينها. ويعمل كل جهاز فيها مرسِلا ومستقبِلا، وأكثر من ذلك، وسيطا بين الأجهزة الأخرى القريبة منه. حينئذ تستطيع الأجهزة البعيدة عن بعضها الاتصال فيما بينها إذا كانت الأجهزة الوسيطة مستعدة لمساعدتها على تمرير الرسائل من جهاز إلى آخر، كما تمرر مجموعة من الأشخاص أوعية الماء من شخص إلى آخر. وبكلمات أخرى، تعمل كل **عقدة** node في الشبكة بوصفها متصلا، ترسل وتستقبل رسائلها وبنية تحتية تنقل رسائل الآخرين.

ليس الإنقاذ في حالات الطوارئ سوى واحد من التطبيقات الممكنة للشبكات التلقائية. فهي يمكن أن تعمل في أي مكان يكون فيه إنشاء بنية تحتية ثابتة شديد البطء أو صعبا أو عالي التكلفة. وقد أنفق الجيش الأمريكي مبالغ طائلة على تصميم مثل هذه النظم لمصلحة الاتصالات في ميدان المعركة. وتُمكِّن الشبكات التلقائية في منزلك الأجهزة من العثور على بعضها والاتصال فيما بينها تلقائيا، محرِّرة إياك من حزم الأسلاك المدودة في غرفة معيشتك وفي مكتبك. ويمكن للقرى النائية، ولمناطق ذوي الدخل المنخفض التي تفتقر إلى بنية تحتية للاتصالات العريضة الحزمة، أن تتصل بالإنترنت عبر الشبكات التلقائية. ويمكن للعلماء المهتمين بدراسة **البيئات الميكروية**[4] في رؤوس الأشجار أو فتحات الماء الحار في قاع المحيط، أن ينشروا **مُحِسَّات**[5] في البيئة التي يرغبون في دراستِها من دون الاهتمام بكيفية اتصالها معا، أو بكيفية انتقال المعلومات من تلك البيئات الصعبة إلى حواسيب الباحثين.

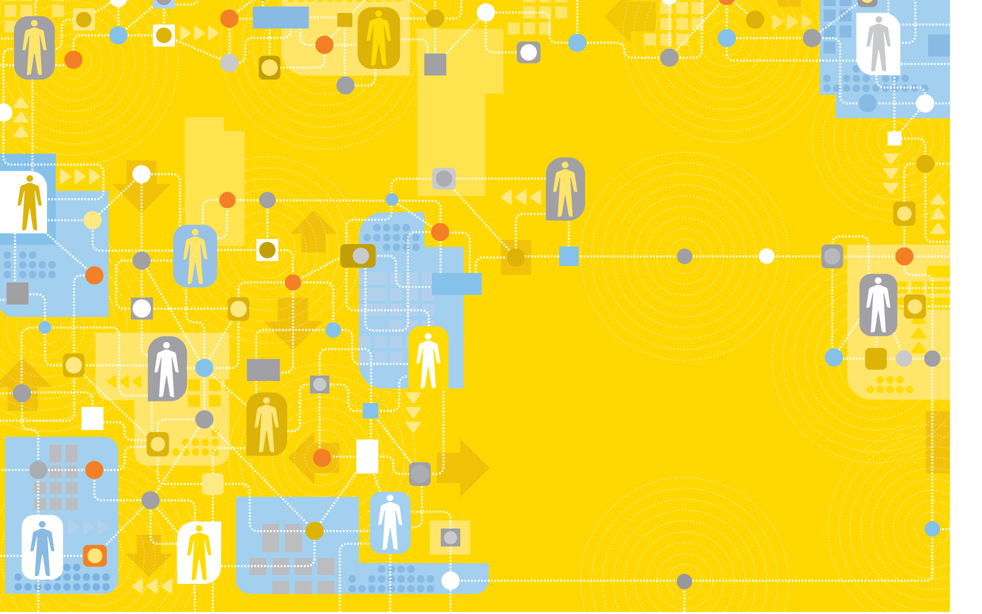
وقد بقيت تلك الشبكات قيد التطوير مدة تزيد على ثلاثة عقود، إلا أن أولى أمثلتها

مفاهيم مفتاحية

- لا تتطلب الشبكات اللاسلكية التلقائية بنية تحتية ثابتة، فهي تمرر المعلومات من جهاز إلى آخر مكوِّنة شبكة من الوصلات.
- يمكن استخدام الشبكات التلقائية حيث تكون إقامة بنية تحتية للشبكات الخلوية المعهودة شديدة الصعوبة أو عالية التكلفة، خاصة في المناطق النائية أو في ساحات المعارك على سبيل المثال.
- نظرا إلى أن الشبكة التلقائية في حالة حركة وتغيُّر دائمين، يجب اللجوء إلى طرائق خلاقة لتجنب ضياع المعلومات وتخفيض التداخل.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE RISE OF INSTANT WIRELESS NETWORKS
(١) ubiquitous
(٢) Facebook, Twitter and the iPhone
(٣) «ad-hoc» network
(٤) microenvironments أو بيئة صغرية.
(٥) sensors



العملية الواسعة النطاق لم تظهر إلا في السنوات القليلة الماضية بعد التطورات التي حصلت في نظرية الشبكات. ففي سان فرانسيسكو، تؤمِّن الشبكات الجديدة Meraki الاتصال لـ400 000 شخص بالإنترنت عبر مشروعها المسمى «**تحرير الشبكة**» Free the Net، والذي يعتمد على تقانة **التشبيك التلقائي**[1]. وتَستخدم مكوِّنات البلوتوث في الهواتف الخلوية (النقالة)، وفي نظم الألعاب الحاسوبية والحواسيب، تقنيات التشبيك التلقائي لتمكين التجهيزات من الاتصال معا من دون توصيلات أو تشكيلات محددة. وقد نُشرت الشبكات التلقائية في بيئات متنوعة، نائية أو قاسية، لجمع بيانات علمية من محِسَّات لاسلكية منخفضة استهلاك الطاقة. ومع ذلك، فإنه ما زال من الضروري تحقيق عدد من الفتوح التقانية الأساسية كي تصبح هذه الشبكات شائعة الاستخدام وذلك على الرغم من التقدُّم الذي تحقَّق في هذا المجال على جبهات عدة.

الشبكة الخلوية؟(*)

لا تزال الشبكات التلقائية نادرة. ولفهم سبب بطء انتشارها، من المفيد النظر إلى الفوارق بين هذا النهج الجديد، وبين التقانات اللاسلكية الأخرى من قبيل الهواتف الخلوية وشبكات الواي–فاي Wi-Fi. فحينما تَستخدم هاتفا خلويا عاديا للاتصال بصديق، تكون الإرسالات لاسلكية فقط بين كل من الهاتفين وأقرب برج للخلية. أما الأبراج فهي ثابتة، والاتصالات فيما بينها تمر عبر شبكات ضخمة من الأسلاك والكبال. والشبكات اللاسلكية المحلية، من قبيل الواي–فاي، تعتمد أيضا على هوائيات ثابتة، وعلى تجهيزات اتصال سلكية فيما بين الهوائيات.

وتنطوي تلك الشبكات على مجموعة من المزايا والعيوب. ومن مزاياها ما يتعلق بتوفير الطاقة لنقل المعلومات. فالشبكات اللاسلكية الشائعة تجعل استهلاك الطاقة في التجهيزات المحمولة التي تتغذى من البطاريات (كالهواتف والحواسيب) في حده الأدنى، وذلك بوضع أكبر قدر ممكن من أعباء عملية الاتصال على كاهل البنية التحتية الثابتة، التي تستجر طاقتها من شبكة الكهرباء. يُضاف إلى ذلك أن عرض الحزمة الراديوية المتاحة هو مورد ثابت ومحدود، وتجعل تلك الشبكات استخدام ذلك المورد أمثليا عادة بإرسال معظم المعلومات على أسلاك. ويمكِّن استخدام البنية التحتية الثابتة من بناء شبكات اتصالات هاتفية، وشبكات واي–فاي، كبيرة وموثوق بها غالبا في المناطق حيث الحاجة القصوى إليها.

إلا أن استخدام البنية التحتية الثابتة يجعل هذه الشبكات عرضة لانقطاع الكهرباء وللأعطال المركزية الأخرى التي يمكن أن توقفها عن العمل، حتى وإن كانت الهواتف والحواسيب الموجودة في المنطقة قادرة على العمل. وبالمقارنة، تُعتبر الشبكات التلقائية منيعة على نحو فريد من هذه الناحية. إذا نفدت طاقة جهاز نقال، أو أُطفئ، فإن التجهيزات الأخرى تعدِّل تشكيلة الشبكة للتعويض عن الجهاز الخارج من الخدمة بقدر الإمكان. فالشبكة تتكيَّف و«تتعافى» على نحو طبيعي مع دخول التجهيزات فيها وخروجها منها.

(*) The Cellular Network
(1) ad-hoc networking



انقطاع المكالمة: تقطع الكوارث التي تشابه زلزال هاييتي خطوط الاتصال، ولذا يمكن استخدام الشبكات التلقائية لتأمين اتصال الضحايا بفرق الإنقاذ وبالعالم الخارجي.

إلا أن هذه المقدرة على التعافي الذاتي ليست مجانية. فالشبكةٍ يجب أن ترسِل معلومات بطريقة ذكية تمكن من إعادة تركيب الرسالة حتى ولو انقطعت بعض الوصلات بين المرسل والمستقبل أثناء الإرسال. وعلى المنظومة أن تحدِّد أفضل مسار لإيصال الرسالة إلى المستقبل، حتى وإن لم تكن ثمة طريقة يعرف بها الجهاز المرسِل مكان وجود المستقبِل. وأخيرا، على الشبكة أيضا أن تتعامل مع الضجيج المنتشر في كل مكان، والناجم عن إرسال عدد من الأجهزة رسائل في وقت واحد.

استراتيجيات التوصيل(*)

تُعدُّ مشكلة توجيه المعلومات توجيها فعالا عبر شبكة متغيرة باستمرار صعبة الحل لأسباب عدة. ففي الشبكات الخلوية أو اللاسلكية الشائعة الأخرى، تلاحق البنية التحتية المركزية السلكية المواقع العامة للأجهزة النقالة وتكوِّن سجلا لها. لذا يمكنها أخذ رسالة من مرسل وتوجيهها مباشرة إلى المستقبل.

أما في الشبكات التلقائية، فعلى الأجهزة النقالة أن تحدِّد بنفسها أفضل المسارات لتوصيل المعلومات إلى مستقبلها. وتلك الأجهزة محدودة الإمكانات من حيث الطاقة الحاسوبية وسعة الذاكرة والمقدرة على تحقيق الاتصالات، ولذا لا يستطيع أيٌّ منها وحده جمع أو معالجة المعلومات التي يمكن للحواسيب المركزية في الشبكات اللاسلكية المعهودة جمعها ومعالجتها.

يمكن إيضاح الحالة بالمثال التالي: أنت في مدينة كبيرة، ولتكن لندن، وتريد الاتصال بصديقك الموجود في مكان غير معروف في الطرف الآخر للمدينة. في هذه الحالة التخيُّلية، تكون البنية التحتية للاتصالات مثبتة على أسطح سيارات الأجرة، ومدى كل مستقبل مركب على سيارة يقل عن ميل واحد، والسيارات تتحرك بسرعة تقل كثيرا عن حركة الاتصالات، ولذا عليها العمل معا لإيصال رسالتك إلى صديقك. ومع تجوال السيارات عبر المدينة، تتواصل المستقبلات القريبة من بعضها معا، ثم تفترق عددا غير محدد من المرات فيما بعد. لذا على رسالتك القفز عبر المدينة على ظهر هذه الشبكة المتغيرة، وأن تعثر على صديقك لتسلمه محتواها من المعلومات.

وهذه مهمة صعبة حتى لرسالة واحدة فقط تتحرك ضمن شبكة صغيرة. وتزداد الصعوبة بازدياد عدد الأجهزة والرسائل في الشبكة. لذا، كي تكون هذه التقانة مفيدة فعلا، يجب أن تعمل بكفاءة بقطع النظر عن الحجم الذي تؤول إليه الشبكة.

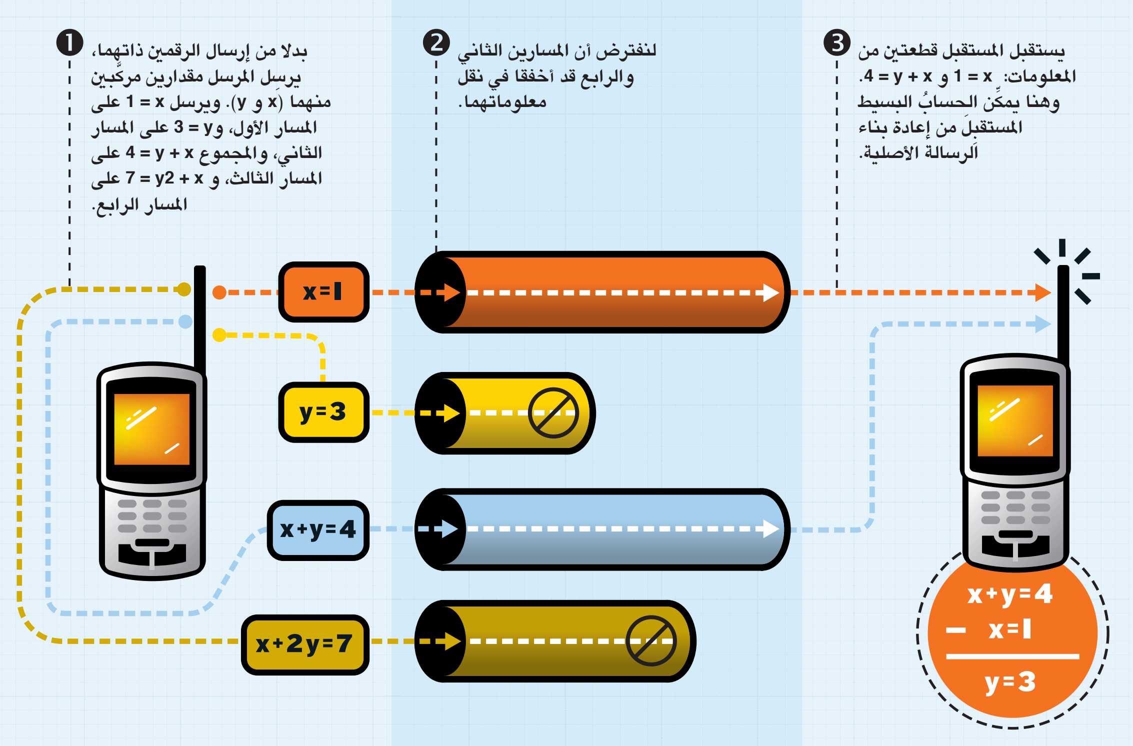
لقد جرى تطوير كثير من التقنيات لمعالجة هذه المشكلة. وجميعها يتضمن، من حيث الجوهر، استعلامات كثيرة عن الاتجاهات. فكل جهاز يستعلم من الأجهزة المجاورة له عن الأجهزة المجاورة لها، وهذه الأجهزة تستعلم من جوارها، وهكذا حتى تصل الرسالة إلى صديقك. ويمكن لرد صديقك أن يعود إليك على المسار نفسه، أو على غيره. وبهذه الطريقة يولِّد كل جهاز وسيط لائحة بالمسارات المتاحة بينك وبين صديقك. وتمكِّن هذه اللوائح رسالتك من الوصول إلى

(*) Delivery Strategies

[كيفية العمل]

استخدام التكرار الذكي لإرسال الرسائل(*)

يمكن لأي مسار يحمل معلومات في الشبكة اللاسلكية التلقائية أن ينهار في أي لحظة. لذا على المرسل تجزئة الرسالة بطريقة ما تمكّن من إعادة تركيبها بغض النظر عن المسارات التي تنقطع. في هذا المثال البسيط، الرسالة هي الرقمان 1 و 3. وثمة أربعة مسارات ممكنة في الشبكة احتمال انقطاع أيٍّ منها يساوي 50%. في الطريقة غير الذكية، إرسال 1 على مسارين وإرسال 3 على مسارين يمكن أن يؤدي إلى ضياع جزء من الرسالة إذا انقطع كلا مساري الـ 1 أو كلا مساري الـ 3. إلاّ أن ثمة طريقة أخرى (*انظر الشكل*) تضمن وصول الرسالة سليمة.



صديقك حتى وإن كان جهازك لا يعرف مكان صديقك. ونظرا إلى أن الشبكة متحركة، على التجهيزات تكرار عملية الاستعلام باستمرار لتحديث لائحة المسارات المتاحة.

ومن المفيد أيضا إرسال المعلومات عبر مسارات عدة في وقت واحد، وذلك لتحسين فرص وصول الرسالة إلى المرسَل إليه. إلاّ أن ثمة سؤالا يطرح نفسه ويتعلق بمقدار التكرار الذي يجب أن تتضمنه المنظومة. من ناحية أولى، يمكن المبالغة وجعل الشبكة ترسل كامل الرسالة على جميع المسارات فيها. وتزيد هذه الطريقة من فرص وصول الرسالة إلى المستقبِل، إلا أن تطبيقها على كل رسالة سوف يؤدي سريعا إلى اختناق الشبكة بالحركة. وفي الطرف الآخر من المبالغة، يمكن تجزئة المعلومات إلى مجموعة من الأجزاء، وإرسال كل جزء عبر مسار يخصه. وفي هذه الطريقة، يُستخدم مقدار صغير من موارد الشبكة، إلا أن كثيرا من أجزاء المعلومات يمكن أن يضيع أثناء الإرسال، تاركا للمستقبل مجرد رسالة مبتورة.

ثمة 400 000 مقيم في سان فرانسِسكو ينفذون إلى الإنترنت باستخدام شبكات تلقائية.

إلا أن تقنية تسمى **تكويد الشبكة**(1) توفر حلا وسطا. تتضمن هذه التقنية تجزئة الرسالة إلى أجزاء، وتحديد معلومات كل جزء، ثم إرسال تلك الأجزاء عبر مسارات عدة على نحو يمكن فيه إعادة بناء الرسالة في طرف المستقبل حتى ولو ضاع بعض أجزائها [*انظر المؤطر في هذه الصفحة*].

ويتضمن أحد أوجه تكويد الشبكة تحديد عدد المسارات التي سوف تُرسَل الرسالة عبرها. وتقلّل زيادة عدد المسارات من مفعول انقطاع أي مسار، إلاّ أنها تزيد من عدد الأجهزة المنخرطة في تحقيق المكالمة الواحدة. وتوزع هذه الطريقة المكالمة على عدد كبير من أجهزة المشاركين، مقللة بذلك عبء الطاقة المستهلكة في كل منها، ولكنْ مع زيادة مقدار التنسيق اللازم فيما بينها.

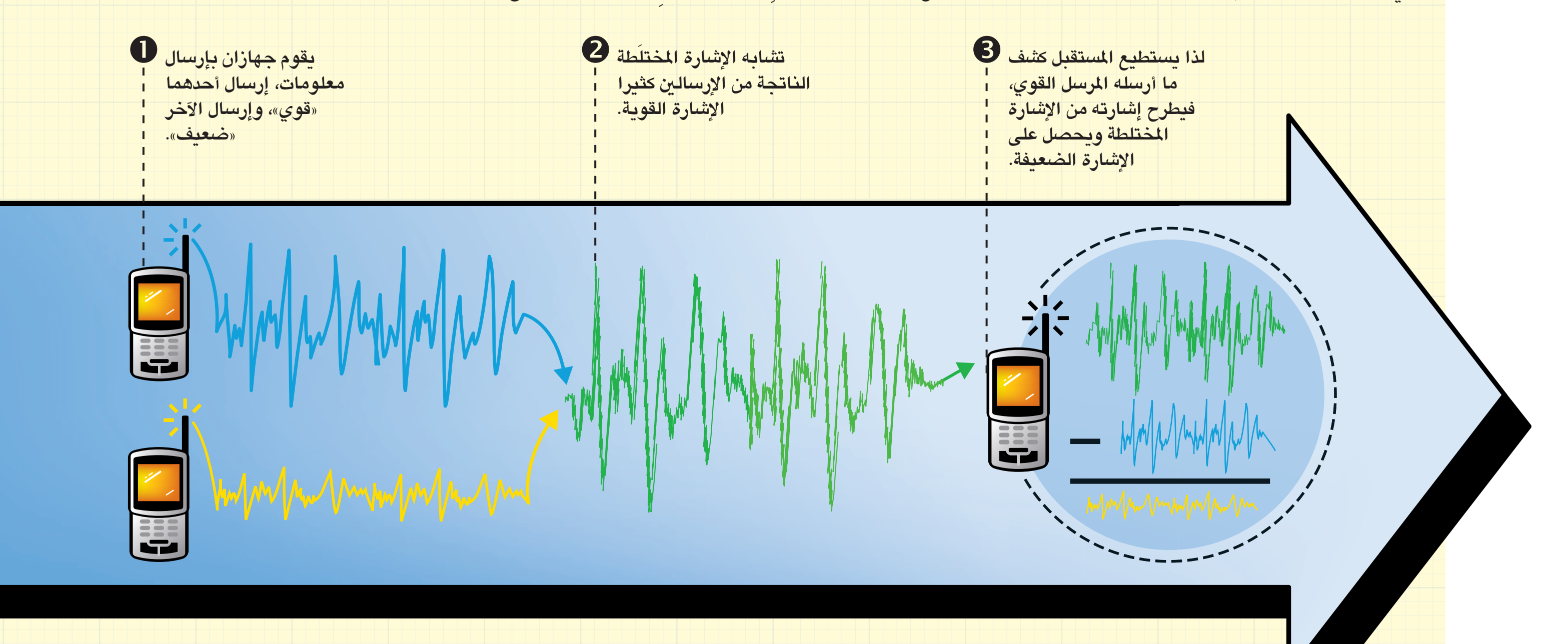
ومع تزايد عدد الأجهزة التي تقوم بالإرسال، سواء لمصلحة مكالمة واحدة أو

(*) Using Smart Redundancy to Send Messages
(1) Network coding

[كيفية العمل]

غيِّر استطاعة الإرسال لدرء التداخل(*)

على الشبكات اللاسلكية التلقائية أن تتعامل مع مشكلات التداخل العويصة التي تحصل عندما يقوم كثير من الأجهزة بالإرسال في آن واحد، حيث يصبح من الصعب استخراج تيار بيانات واحد من ضجيج التداخل. وإحدى طرائق تجاوز هذه العقبة هي جعل الأجهزة تغيِّر شدَّة إشاراتها. وتعمل هذه الطريقة بنجاح في حالة وجود مرسِلَيْن ومستقبل واحد. أما جعلها تعمل مع عدد أكبر من المرسِلات والمستقبِلات، فهو موضوع بحث جار.



لمصلحة مكالمات عدة، يزداد احتمال التداخل فيما بينها أيضا. عندئذ، وعلى غرار صعوبة فهم كلام حينما يتحدث كثير من الناس في آن واحد، يصبح من الصعب على جهاز لاسلكي أن يكشف المعلومات المرسلة حين حصول إرسالات أخرى بالقرب منه. وهذه مشكلة عويصة في الشبكات اللاسلكية التلقائية خاصة، وذلك بسبب عدم وجود نظام تحكم مركزي يعمل على التنسيق فيما بين الأجهزة المشاركة في الشبكة.

ويمكن معالجة التداخل في الشبكات اللاسلكية بطريقتين. في الطريقة الأولى، يجري تجنب التصادم. فإذا كانت الإرسالات نادرة، كان احتمال تداخل رسالة مع أخرى صغيرا. لذا، يقوم كل جهاز في هذه الطريقة بتجزئة المعلومات إلى أجزاء صغيرة وإرسالها على شكل رشقات قصيرة. ونظرا إلى أنه من غير المحتمل أن تقوم الأجهزة المجاورة، التي لا يوجد تنسيق معها، بالإرسال في الوقت نفسه فإن هذه الطريقة تولد تداخلا أقل مما يحصل لو أرسل المستخدمون المعلومات على شكل تيار مستمر بطيء (يعتمد أكثر **مقاييس** standard شبكات الحواسيب اللاسلكية شيوعا على طريقة الرشقات هذه.)

أما الطريقة الثانية، فتسمح لمرسِلَيْن بإرسال معلومات إلى مستقبل واحد في الوقت نفسه، إلاّ أنها تتطلب أن يكون إرسال أحدهما أضعف من إرسال الآخر. فإذا تكلمتَ بصوت عال حينما يهمس شخص آخر، فإنني أستطيع كشف رسالتك من دون صعوبة [*انظر المؤطَّر في هذه الصفحة*]. وإذا كان لدي تسجيل صوتي، فإني أستطيع إسقاط رسالتك منه لكشف الرسالة الضعيفة.

لقد تبين أن الطريقة الثانية تتفوق في الشبكات التي يرسل فيها جهازان فقط رسائل يستقبلها جهاز ثالث، لكن أداءها يتدهور بسرعة مع ازدياد عدد المُرسِلين.

(*) Vary the Volume to Avoid Interference

المؤلفات

Michelle Effros - Andrea Goldsmith - Muriel Médard

*صديقات ومتعاونات منذ مدة طويلة. و<**إفروس**> أستاذة الهندسة الكهربائية في معهد كاليفورنيا للتقانة. و<**گولدسميث**> أستاذة الهندسة الكهربائية في جامعة ستانفورد، وهي المؤسس المشارك للشركة Quantenna Communications التي تطور تقانة التشبيك اللاسلكي. و<**ميدارد**> هي عضو الهيئة التدريسية في قسم الهندسة الكهربائية وعلم الحاسوب في معهد ماسَّاشوستس للتقانة.*

يضـــاف إلى ذلك أن على المنظومة أن تحدِّد، بطريقـــة ما، من يرســـل بصوت عـــالٍ ومن يرسل بصوت منخفض. والتنسيق بحد ذاته يتطلب اتصالات، وكلما ازداد الجهد المبذول في التنسيق، قلَّ **عرض الحزمة** bandwidth الترددية المتاح لك للاتصال. وتحديد الطريقة المكنة الفضلى ما زال موضوع بحث جار.

أدوات جديدة(*)

صحيحٌ أن الشبكات التلقائية مفيدة في كثير من الحالات، إلاّ أنه قد يكون من الصعب تحديــد مدى تلك الفائدة تماما؛ حتى إنه لن الصعب الإجابة عن الأســئلة البسيطة التي تخــص حدود أدائها. ما هو معدل إرســال المعلومات الذي يمكننا استخدامه فيها؟ كيف يعتمد هذا المعدل على عدد الأجهزة الموجودة في الشــبكة، وعلى مقدار التداخل فيما بين إرســالاتها؟ مــاذا يحصل عندمــا تتحرك جميــع الأجهزة التي في الشــبكة؟ وما هي المقايضات المكنة بين معدل نقل المعلومات، والتأخير المترتب على وصولها إلى مصبها، ومناعة المنظومة؟

إن أهميــة الحصول على حــدود الأداء الجوهريــة تلك كبيرة جــدا. فتلك المعلومات توفر لمصممي الشــبكة تقنيات جديدة يمكن تضمينها في تصاميمهم، وتساعد الباحثين على تحديد أيــن يمكن تحقيق أكبر ربح في الشبكات القائمة. ويُضاف إلى ذلك أن معرفة تلــك الحدود تمكِّن مصممي الشــبكات من تحديد الأفضليات المتنافســة من قبيل معدل نقل المعلومــات والتأخيــر واحتمال ضياع المعلومات. وعلى سبيل المثال، تتأثر المكالمات الهاتفيــة والمؤتمرات من بُعْــد كثيرا بتأخر وصول المعلومات. فالتأخير الطويل، ومعدل وصول رزم المعلومات غير المتناســق، يمكن أن يُحدِثــا تقطُّعات في الصــوت والصورة المنقولَين تجعل التخاطب صعبا. لذا، عندما يفهــم المصممون بنية الشــبكة المعنية التي يعملــون بها، يســتطيعون برمجة كل تطبيق لتحديد أفضليات احتياجاته، من قبيل معدل التأخير المنخفض في حالة المكالمات الهاتفية، أو معدل ضياع رزم المعلومات المنخفض في حالة إرسال الوثائق المهمة.

إلا أنه من الصعب تحقيق هذا النوع من الفهم للشبكات التلقائية، لأنها دائمة التغيُّر. لــذا، ولفهــم الإمكانــات النهائيــة للشــبكة، لا يمكن الاعتماد على مجــرد قياس أدائها الحالــي، بل يجــب تحديد أدائهــا في كل تشكيلة ممكنة لها.

وقد اتبعنا نهجا جديدا في معالجة هذه المشكلة يُنمذج الشبكات اللاسلكية التلقائية بشيء أشــد وضوحا نســتطيع فهمه، أي الشبكات السلكية العادية. ففي جعبتنا من الأدوات التي ابتكرهــا علماء المعلومات ما يزيد على نتاج عمل دام ستة عقود لدراسة تدفق المعلومات عبر الشــبكات الســلكية. وهذه الشبكات لا تعاني مشكلات **التداخل** interference، وعُقَــد الاتصال فيها لا تغير مواقعها. فإذا أردنا دراسة شبكة لاسلكية معينــة، نمذجناهــا أولا باعتبارها شــبكة سلكية تمتلك بعض السمات الأساسية من سمات الشبكة اللاســلكية. وبعدئذ يمكننا توصيــف إمكانات الأداء الكاملة للشــبكة التلقائية باســتخدام مواصفــات النموذج باعتبارها دليلا.

وتســاعدنا هــذه الإجرائيــة علــى بناء شبكات ذات أداء أفضل، لأننا نستطيع فهم مضامين خياراتنا التصميمية. وهي تســمح لنا أيضا بتحديــد المواضع التي تعمل فيها طرائقنا على نحو جيــد، وأين يمكن إدخال تحسينات جديدة.

ولكنْ حتــى بتوفُّر تلــك الأدوات، فإننا لا نتوقع أن تحل الشــبكات التلقائية محل الشبكات الخلوية الموجودة. أما في الحالات الاســتثنائية التي تكــون فيها الشــبكات التلقائية ضرورية، فإن تلك الأدوات ســوف تمكِّــن من الفهــم الكامــل للإمكانات التي سوف تمتلكها الشبكة، خاصة حيث توجد حاجة ماسة إليها. ■

(*) New Tools

لفهم الإمكانات النهائية للشبكة، عليك تحديد الكيفية التي سوف تتصرف بها في كل تشكيلة ممكنة.

مراجع للاستزادة

Smart Sensors to Network the World. David E. Culler and Hans Mulder in *Scientific American*, Vol. 290, No. 6, pages 52–59; June 2004.

Breaking Network Logjams. Michelle Effros, Ralf Koetter and Muriel Médard in *Scientific American*, Vol. 296, No. 6, pages 56–63; June 2007.

On a Theory of Network Equivalence. Ralf Koetter, Michelle Effros and Muriel Médard. IEEE Information Theory Workshop on Networking and Information Theory, Volos, Greece, pages 326–330; 2009.

***Scientific American*, April 2010**

هل يمكن لنقص الأغذية أن يؤدي إلى انهيار الحضارة؟(*)

إن أكبر خطر يهدد الاستقرار العالمي هو احتمال حدوث أزمات في تأمين الأغذية للبلدان الفقيرة يؤدي إلى انهيار حكوماتها. تلك الأزمات التي يسببها استمرار تفاقم التدهور البيئي.

<L. R. براون>

من أصعب الأمور على الإنسان التنبؤ بتغير مفاجئ. فنحن نتنبأ بالمستقبل عادة من خلال استقرائنا للاتجاهات التي سادت في الماضي. ويعمل هذا الأسلوب بنجاح في معظم الأحيان. غير أن إخفاقه يكون شديدا في بعض الأحيان، ويفاجأ الناس ببساطة بأحداث من قبيل الأزمة الاقتصادية الحالية.

وبالنسبة إلى معظمنا قد تبدو فكرة انهيار الحضارة ذاتها منافية للمنطق. فمن ذا الذي لا يجد صعوبة في أن يأخذ على محمل الجد فكرة الانفصال التام عمّا نتوقعه من حياتنا العادية؟ ما الأدلة التي يمكن أن تجعلنا نكترث بتحذير على هذا القدر من الكآبة - وكيف سيكون تصرفنا حياله؟ لقد اعتدنا على قائمة طويلة من الكوارث التي نعتبر احتمال حدوثها ضئيلا لدرجة أننا أصبحنا عمليا مبرمجين على رفض احتمال وقوعها جميعا بإشاحة من اليد: بالتأكيد يمكن لحضارتنا أن تنقلب إلى حالة من الفوضى - كما أن الأرض يمكن أن تصطدم بأحد الكواكب السيارة أيضا!

لسنوات عديدة، دُرست الاتجاهات العالمية الزراعية والسِكانية والبيئية والاقتصادية وما يحدث بينها من تفاعلات. وتشير الآثار المجتمعة لهذه الاتجاهات وما ينجم عنها من توترات سياسية إلى انهيار حكومات ومجتمعات. ومع ذلك، فقد قاوَمْتُ أيضا فكرة أنه من الممكن لنقص الغذاء أن يؤدي إلى تقويض ليس الحكومات المنفردة فحسب، بل حضارتنا العالمية أيضا.

ولم يعد بوسعي تجاهل ذاك الخطر. فإخفاقنا المستمر في التعامل مع أشكال التدهور البيئي الذي يقوّض أسس الاقتصاد الغذائي العالمي - وأهمها انخفاض منسوب المياه الجوفية، وتدهور التربة، وارتفاع درجات الحرارة - يحملني على أن أستنتج أن حدوث هذا الانهيار أمر ممكن.

مشكلة دول فاشلة(**)

إن مجرد نظرة عابرة إلى المؤشرات الأساسية لنظامنا العالمي الحالي تقدم دعما غير مرغوب فيه للاستنتاج الذي توصلت إليه. وقد دخل من يعملون منا في مجال البيئة في العقد الثالث من رسم خريطة اتجاهات التدهور البيئي من دون أن نرى جهدا ملموسا يبذل لتصحيح مسار أي من هذه الاتجاهات.

في ست من السنوات التسع الماضية، قلّ إنتاج العالم من الحبوب الغذائية عن استهلاكه، مما سبّب بالضرورة انخفاضا مطردا في الكميات المخزونة. وعندما بدأ موسم الحصاد في العام 2008، كان المخزون المرحل من الحبوب الغذائية (الكميات الموجودة في الصوامع عند بدء الحصاد الجديد) يكفي لاستهلاك 62 يوما، وهو رقم

(*) COULD FOOD SHORTAGES BRING DOWN CIVILIZATION?
(**) The Problem of Failed States

مفاهيم مفتاحية

- تتسبب ندرة الأغذية وما ينتج منها من ارتفاع في أسعارها في انزلاق البلدان الفقيرة نحو حالة من الفوضى.
- هذه «الدول الفاشلة» يمكن أن تصدر المرض والإرهاب والمخدرات والأسلحة واللاجئين.
- إن النقص في المياه وفقدان التربة الزراعية وارتفاع درجات الحرارة نتيجة لاحترار الأرض، تفرض قيودا قاسية على إنتاج الأغذية.
- يرى الكاتب أنه بغير التدخل بقوة وسرعة لمواجهة هذه العوامل البيئية الثلاثة، فإن سلسلة من انهيار الحكومات يمكن أن تهدد النظام العالمي.

محررو ساينتفيك أمريكان



أطفال يتزاحمون على الطعام في قرية دوبي **Dubie**، بجمهورية الكونغو الديمقراطية. التقطت هذه الصورة في الشهر 2005/12.

يقترب من المستوى القياسي الأدنى. ونتيجة لذلك، ارتفعت الأسعار العالمية للحبوب الغذائية في ربيع عام 2008 وصيفه إلى أعلى مستوى لها على الإطلاق.

ومع تزايد الطلب على الأغذية بوتيرة أسرع من تزايد الكميات المعروضة، فرض تضخم أسعار الأغذية الناتج من ذلك ضغوطا قاسية على حكومات بلدان تتأرجح مسبقا على حافة الفوضى؛ حيث خرج الجياع غير القادرين على شراء الحبوب الغذائية أو زراعتها بأنفسهم إلى الشوارع. وبالتأكيد، حتى قبل الارتفاع السريع في أسعار الحبوب الغذائية عام 2008 ازداد عدد الدول الفاشلة [*انظر العمود في يمين الصفحة 60*]. ويرجع السبب في كثير من مشكلات هذه الدول إلى الإخفاق في كبح جماح الزيادة السكانية. غير أن استمرار تدهور الحالة الغذائية سيسرّع من معدل انهيار دول بأكملها. لقد دخلنا حقبة جديدة من الجغرافيا السياسية. وعلى حين كان التهديد الأكبر للأمن العالمي في القرن العشرين هو الصراع بين القوى الكبرى، بات هذا التهديد اليوم يتمثل بالدول الفاشلة. لم نعد نتعرض للتهديد من تركز السلطة، بل من غيابها.

تنهار الدول عندما تعجز الحكومات الوطنية عن توفير الأمن الشخصي والأمن الغذائي والخدمات الاجتماعية الأساسية كالتعليم والرعاية الصحية. وغالبا ما تفقد الحكومات سيطرتها على أرضها كلها أو على جزء منها. وعندما تفقد الحكومات احتكارها للسلطة، يبدأ القانون والنظام بالتفكك. وبعد نقطة معينة، يمكن للدول أن تصل إلى درجة من الخطورة لا يجد معها موظفو الإغاثة الغذائية الأمان ويضطرون إلى وقف برامجهم. ففي الصومال وأفغانستان، باتت الأحوال المتدهورة في هذين البلدين تهدد هذه البرامج فعلا.

وتثير الدول الفاشلة القلق على المستوى الدولي لأنها تعدّ مصدرا للإرهابيين والمخدرات والسلاح واللاجئين، مما يهدد الاستقرار السياسي في كل مكان. وقد أصبحت الصومال، وهي الدولة الأولى في قائمة الدول الفاشلة عام 2008، قاعدة للقرصنة. وأصبح العراق، الذي احتل المرتبة الخامسة، مركزا لتدريب الإرهابيين. كما تعد أفغانستان، التي تأتي في المرتبة السابعة، المورّد الأول للهيروين في العالم. وفي أعقاب الإبادة الجماعية التي جرت عام 1994 في رواندا، أسهم اللاجئون من هذه الدولة المضطربة، وبينهم آلاف من الجنود المسلحين، في حرمان جمهورية الكونغو الديمقراطية المجاورة (والتي تأتي في المرتبة



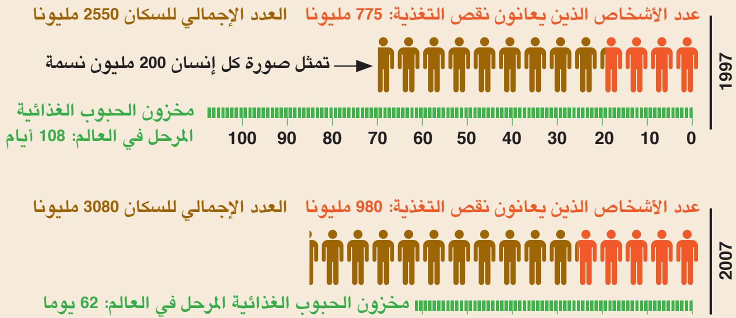
[الإجهاد الغذائي في ازدياد]

أرقام تسير في الاتجاه الخطأ(*)

يرتفع العدد المطلق والنسبة المئوية للأشخاص الذين يعانون نقص تغذية مزمن في الدول السبعين الأقل نموا في العالم، في حين تتراجع كميات الأغذية الاحتياطية في العالم التي تتمثل بالمخزون المرحل (كمية الحبوب الغذائية الموجودة في الصوامع عند بداية الحصاد الجديد).

المصدر: U.S. Department of Agriculture, 2008; U.S. Census Bureau

زيادة الجوع في الدول السبعين الأقل نموا في دول العالم



2017

عدد الأشخاص الذين يعانون نقص التغذية: 1200 مليون (المتوقع) العدد الإجمالي للسكان 3650 مليونا (المتوقع)



مخزون الحبوب الغذائية المرحل في العالم: لم يتم تحديد الكمية المتوقعة

دول فاشلة(**)

في كل عام، يشترك صندوق السلام ومؤسسة كارنيگي للسلام الدولي في إعداد تحليل وتصنيف لدول العالم بناء على 12 مؤشرا اجتماعيا واقتصاديا وسياسيا وعسكريا لبيان درجة الرفاهية القومية. وفيما يلي قائمة بالعشرين بلدا الأقرب إلى الانهيار في العالم صنفت من الأسوأ إلى الأفضل وفقا للدرجات المجمعة التي حصلت عليها هذه البلدان في عام 2007:

- الصومال
- السودان
- زيمبابوي
- تشاد
- العراق
- جمهورية الكونگو الديمقراطية
- أفغانستان
- ساحل العاج
- پاكستان
- جمهورية إفريقيا الوسطى
- غينيا
- بنگلاديش
- بورما (ميانمار)
- هاييتي
- كوريا الشمالية
- إثيوبيا
- أوغندا
- لبنان
- نيجيريا
- سري لانكا

المصدر: «The Failed States Index 2008,» by the Fund for Peace and the Carnegie Endowment for International Peace, in Foreign Policy; July/August 2008

السادسة) من الاستقرار.

تعتمد حضارتنا العالمية على شبكة عاملة من الدول - القومية التي تعيش حياة سياسية صحيحة، في مكافحة انتشار الأمراض المعدية، وإدارة النظام النقدي العالمي، والسيطرة على الإرهاب الدولي، وتحقيق عشرات من الأهداف المشتركة الأخرى. وإذا انهارت منظومة مكافحة الأمراض المعدية - كشلل الأطفال، أو المتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة (سارس SARS)، أو إنفلونزا الطيور - فسوف تواجه البشرية متاعب. ومع انهيار الدول، لن يكون هناك من يتحمل مسؤولية تسديد ديونها للمقرضين الأجانب. وإذا تفكك عدد كاف من الدول، فسوف يهدد انهيارها استقرار الحضارة العالمية ذاتها.

نوع جديد من نقص الأغذية(***)

اكتسب الارتفاع المفاجئ في الأسعار العالمية للحبوب في 2007 و 2008 - وما يمثله من تهديد للأمن الغذائي - طابعا مختلفا يثير من القلق أكثر مما أثارته الزيادات التي حدثت في الماضي. وكانت أسعار الحبوب الغذائية قد شهدت ارتفاعا شديدا مرات عدة في النصف الثاني من القرن العشرين. ففي عام 1972، على سبيل المثال، أدرك السوفييت ضَعْف موسم الحصاد لديهم مبكرا، ولذا حاصروا سوق القمح العالمي بهدوء. ونتيجة لذلك، ارتفعت أسعار القمح في مناطق أخرى بأكثر من الضعف، ورفعت معها أسعار الأرز والذرة. غير أن هذه الصدمة وغيرها من صدمات الأسعار كانت تعود إلى حوادث معينة، كالجفاف في الاتحاد السوفييتي السابق، وعدم هبوب الرياح الموسمية في الهند، وارتفاع درجة الحرارة الذي أدى إلى انكماش المحاصيل في حزام الذرة في الولايات المتحدة. وكانت هذه الارتفاعات تستمر لفترات قصيرة : فقد كانت عادة تعود إلى حالتها الطبيعية في موسم الحصاد التالي.

وعلى العكس من ذلك، فإن الارتفاع الضخم الأخير في أسعار الحبوب الغذائية في العالم ناجم عن اتجاهات في التغير، ولذلك فمن غير المحتمل أن تعود الأسعار إلى سيرتها الأولى من دون عكس مسار هذه الاتجاهات. وعلى جانب الطلب، تشمل هذه الاتجاهات الإضافة الجارية إلى أكثر من 70 مليون نسمة كل عام؛ والزيادة في عدد الأشخاص الذين ينتقلون إلى درجات أعلى

(*) Numbers That Go the Wrong Way
(**) FAILING STATES
(***) A New Kind of Food Shortage

في سلسلة الغذاء ليستهلكوا منتجات الثروة الحيوانية التي تعتمد على الاستهلاك الكثيف للحبوب[1]؛ وتحويل جزء كبير من الحبوب الغذائية الأمريكية إلى إنتاج وقود الإيثانول.

يتباين الطلب الإضافي على الحبوب الغذائية المقترن بزيادة الرفاه، تباينا واسعا من بلد إلى آخر. فالناس في البلدان المنخفضة الدخل حيث توفر الحبوب الغذائية 60 في المئة من السعرات الحرارية، كالهند مثلا، يستهلكون مباشرة أكثر بقليل من 454 غراما من الحبوب الغذائية يوميا للفرد. أما في بلدان الرفاه، كالولايات المتحدة وكندا، فيبلغ استهلاك الفرد من الحبوب الغذائية أربعة أضعاف ذلك تقريبا، وإن كان نحو 90 في المئة منه يستهلك بشكل غير مباشر على شكل لحوم وألبان وبيض من حيوانات تتغذى بالحبوب الغذائية.

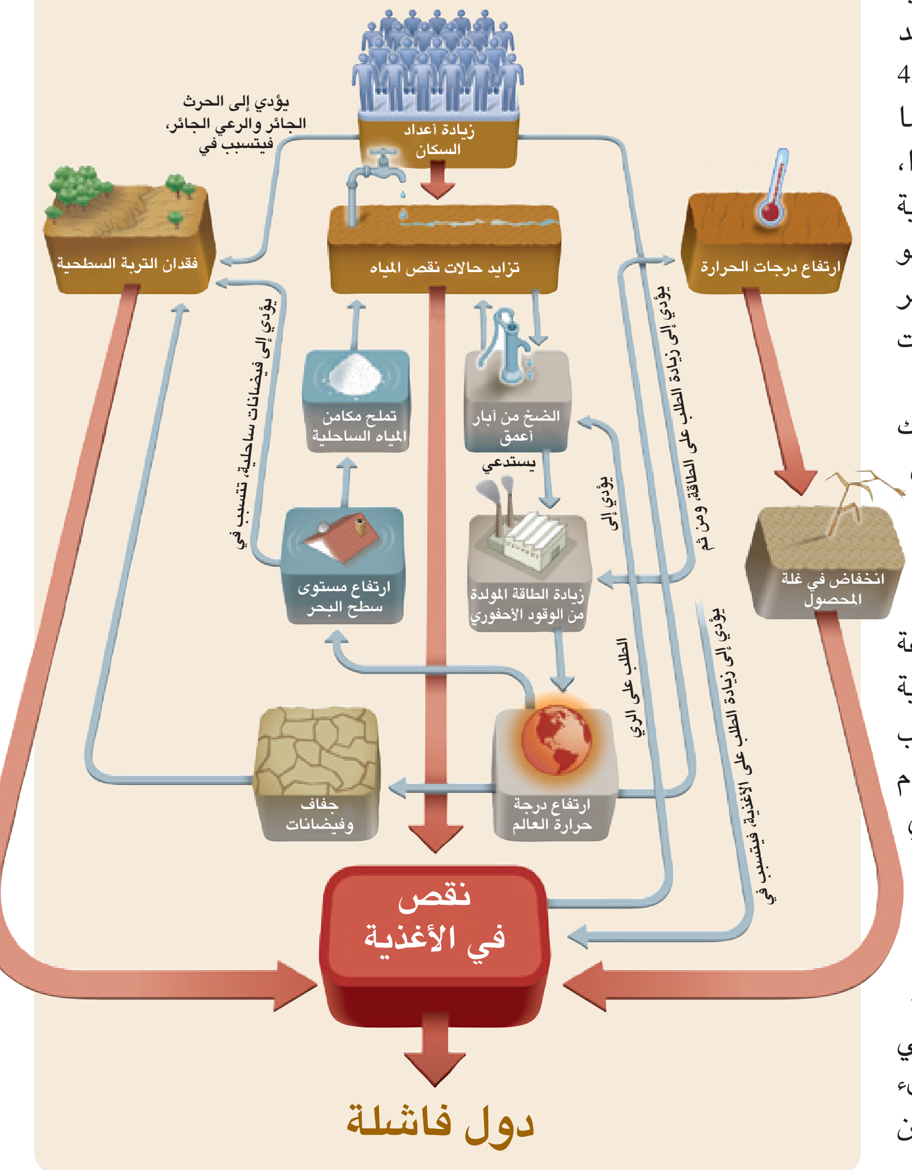
ثمة احتمال كبير لزيادة استهلاك الحبوب الغذائية نتيجة لارتفاع الدخل بين المستهلكين من أصحاب الدخل المنخفض. ولكن هذا الاحتمال يتضاءل إذا ما قورن بالطلب الذي لا يتوقف على وقود السيارات المصنَّع من المحاصيل الزراعية. فصناعة وقود السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية سوف تستهلك ربع محاصيل الحبوب الغذائية لهذا العام، وهي كمية تكفي لإطعام 125 مليون أمريكي أو نصف بليون هندي بمستويات الاستهلاك الحالية. ومع ذلك، وحتى إذا وُجِّه محصول الحبوب الغذائية الأمريكية بأكمله إلى صناعة الإيثانول، فإنه لن يكفي إلا لتلبية 18 في المئة فقط من احتياجات وقود السيارات الأمريكية. في حين أن كمية الحبوب الغذائية اللازمة لملء خزان سيارة عائلية سعة 25 گالونا يمكن أن تطعم إنسانا لمدة عام كامل.

يوحي الدمج الحديث بين اقتصاديات الأغذية واقتصاديات الطاقة أنه إذا كانت قيمة الحبوب كغذاء أقل من قيمتها كوقود، فسيعمل السوق على نقل الحبوب إلى اقتصاد الطاقة. ويؤدي ازدواج هذا الطلب إلى تنافس حاد بين السيارات والناس على

[الأسباب والآثار]

العوامل الرئيسية في نقص الأغذية(*)

تظهر الندرة المنتشرة للأغذية كسبب رئيسي لانهيار الدول. وينشأ النقص في الأغذية عن شبكة معقدة من الأسباب والآثار والنتائج تزيد تفاعلاتها غالبا من اشتداد تأثير أي عامل واحد منها منفردا. وتظهر في الشكل بعض أكثر العوامل شيوعا. ويذهب الكاتب إلى أن حالات نقص الأغذية اليوم ليست وليدة إخفاق المحصول لمرة واحدة أو لأسباب تتعلق بحالة الطقس، بل هي نتيجة لأربعة اتجاهات حاسمة على المدى الطويل (*في الأسفل*): النمو السريع في عدد السكان وفقدان التربة السطحية وانتشار حالات نقص المياه وارتفاع درجات الحرارة.



إمدادات الحبوب، كما يؤدي إلى ظهور قضية سياسية وأخلاقية ذات أبعاد غير مسبوقة. فالولايات المتحدة الأمريكية، في محاولتها المضلّلة للحد من الاعتماد على

(*) Key Factors in Food Shortages
(1) انظر: «*The Greenhouse Hamburger*,» by Nathan Fiala; *Scientific American*, February 2009

[انخفاض مناسيب المياه]

يمكن للري أن يؤدي إلى حالات نقص حاد في المياه(*)

إن أكثر ما يستنفد كميات المياه العذبة هو الري الذي يستهلك 70 في المئة من هذه المياه. وللري أهمية كبرى في معظم أشكال الزراعة ذات الغلة العالية، غير أن كثيرا من مكامن المياه التي تزود محاصيل الري بالمياه تستنفد بسرعة أكبر من قدرة المطر على إعادة تغذيتها. إضافة إلى ذلك، فعندما يستغل المزارعون مكامن المياه «الأحفورية» التي تختزن المياه من الأزمنة القديمة في صخر لا تنفذ فيه مياه الأمطار، فإنهم يستخرجون موردا غير قابل للتجدد. كما أن ضخ المياه من آبار تزداد عمقا باستمرار يمثل مشكلة أخرى أيضا: فهو يستهلك الكثير من الطاقة. ففي بعض ولايات الهند، يستخدم نصف الكهرباء المتاحة للولاية في ضخ المياه.

المحصول
مضخة
مكمن مائي يمكن تجديده
طبقة صخرية كتيمة
مكمن مائي أحفوري (مستنفد تقريبا)

النفط الأجنبي بإحلال أنواع الوقود القائمة على الحبوب الغذائية محل النفط، تخلق حالة من انعدام الأمن الغذائي على الصعيد العالمي لدرجة لم يشهدها العالم من قبل.

نقص المياه يعني نقصا في الأغذية(**)

إذن، ما الوضع بالنسبة إلى الكميات المعروضة؟ إن الاتجاهات البيئية الثلاثة التي ذكرتها من قبل - نقص المياه العذبة ، وفقدان التربة السطحية، وارتفاع درجات الحرارة (والآثار الأخرى) للاحترار العالمي - تجعل من الصعب بصورة متزايدة زيادة المعروض العالمي من الحبوب الغذائية بالسرعة الكافية لمواكبة الطلب. ومن بين جميع هذه الاتجاهات، يمثل انتشار نقص المياه التهديد الأقرب. والتحدي الأعظم هنا هو الري الذي يستهلك 70 في المئة من المياه العذبة في العالم. فثمة ملايين من آبار الري في بلدان كثيرة تضخ المياه الآن من مصادر جوفية بمعدل أسرع من قدرة الأمطار على إعادة ملئها. والنتيجة هي انخفاض مناسيب المياه في بلدان يسكنها نصف سكان العالم، بما فيها أكبر ثلاث دول منتجة للحبوب الغذائية - الصين والهند والولايات المتحدة الأمريكية.

عادة ما تكون مكامن المياه الجوفية قابلة للتجدد، غير أن عددا من أهم هذه المكامن ليس كذلك: كالمكامن «الأحفورية»، والتي يطلق عليها هذا الاسم لأنها تختزن مياها قديمة لا تتجدد بهطل المطر. وبالنسبة إلى هذه المكامن - مثل مكمن أوگالالا Ogallala بمساحته الشاسعة والذي يقع تحت السهول العظمى في الولايات المتحدة، والمكمن الموجود في المملكة العربية السعودية، والمكامن الموجودة تحت سهل الصين الشمالي - سيكون نضوبها بمثابة نهاية لعملية الضخ. وفي الأقاليم القاحلة يمكن أن يسبب هذا النضوب أيضا نهاية الزراعة بالكامل.

وفي الصين ينخفض منسوب المياه تحت سهل الصين الشمالي بسرعة، وهي منطقة تنتج أكثر من نصف كمية القمح وثلث كمية الذرة في ذاك البلد. وقد استهلك الضخ المفرط معظم المياه في مكمن ضحل هناك، مما أجبر حفاري الآبار على التحول إلى المكمن العميق في الإقليم وهو مكمن غير قابل للتجدد. ويتنبأ تقرير للبنك الدولي «بعواقب كارثية للأجيال القادمة» ما لم يتم بسرعة استعادة التوازن بين استخدام المياه والكميات المتاحة منها.

ومع انخفاض مناسيب المياه الجوفية وجفاف آبار الري انخفض محصول القمح في الصين، وهو أكبر محصول في العالم، بنسبة 8 في المئة منذ وصل إلى ذروته بـ123 مليون طن في عام 1997. وفي الفترة ذاتها، انخفض إنتاج الصين من الأرز بنسبة 4 في المئة. وقد تلجأ هذه الدولة، وهي أكبر بلدان العالم من حيث عدد السكان، إلى استيراد كميات هائلة من الحبوب الغذائية.

أما في الهند، فإن نقص المياه يثير قدرا أكبر من القلق. فالهامش الفاصل بين

(*) Irrigation Can Lead to Severe Water Shortages
(**) Water Shortages Mean Food Shortages

استهلاك الأغذية والبقاء على قيد الحياة هناك أقل ثباتا. فقد انخفضت مناسيب المياه في الملايين من آبار الري في كل ولاية تقريبا. وكما ذكر <F. بيرس> في مجلة **نيو ساينتيست** *New Scientist*:

> جَفّ نصف الآبار التقليدية المحفورة يدويا وملايين من الآبار الأنبوبية الضحلة في الهند مسبقا، وأدى ذلك إلى موجة من حالات الانتحار بين من يعتمدون على هذه الآبار. ووصلت حالات انقطاع التيار الكهربائي إلى مستويات وبائية في الولايات التي يستخدم فيها نصف الكهرباء لضخ المياه من أعماق تصل إلى كيلومتر واحد.

وتذكر دراسة للبنك الدولي أن 15 في المئة من كميات الأغذية في الهند تنتج باستخراج المياه الجوفية. وبعرضها بطريقة أخرى، يستهلك 175 مليون هندي حبوبا تنتج باستخدام ماء من آبار ري سوف تستنفد في المستقبل القريب. ويمكن أن يؤدي التقلص المستمر في إمدادات المياه إلى حالات نقص في الأغذية وصراعات اجتماعية لا يمكن السيطرة عليها.

نقص التربة يعني زيادة الجوع(*)

إن مجال الاتجاه الثاني المثير للقلق - وهو فقدان التربة السطحية - يثير الفزع أيضا. فالتربة السطحية تتآكل بوتيرة أسرع من تشكل التربة الجديدة في نحو ثلث الأراضي الزراعية في العالم. فهذه الطبقة الرقيقة من العناصر المغذية الحيوية للنبات، والتي تمثل بحد ذاتها أساس الحضارة، استغرقت عصورا جيولوجية طويلة لتتكون، ومع ذلك فعمقها لا يزيد عادة على ست بوصات. وكان فقدان هذه الطبقة بفعل الحت الناتج من حركة الرياح والمياه سببا في انهيار حضارات سابقة.

وفي عام 2002، أجرى فريق تابع للأمم المتحدة تقييما للحالة الغذائية في ليسوتو، وهي بلد غير ساحلي صغير يُؤوي مليوني نسمة ويقع كله داخل حدود جنوب أفريقيا. كانت النتيجة التي توصل إليها الفريق واضحة تماما: «تواجه الزراعة في ليسوتو مستقبلا كارثيا؛ فإنتاج المحاصيل يتراجع وقد يتوقف تماما في مساحات شاسعة من البلد إذا لم تتخذ الخطوات اللازمة لتغيير مسار تآكل التربة وتدهورها وتناقص خصوبتها.»

وفي النصف الغربي للكرة الأرضية، حققت هاييتي - وهي واحدة من أولى الدول التي عرفت بأنها دولة فاشلة - قدرا كبيرا من الاكتفاء الذاتي من الحبوب الغذائية قبل أربعين سنة. غير أنها فقدت في السنوات التالية جميع غاباتها تقريبا والكثير من تربتها السطحية، الأمر الذي اضطرت معه إلى استيراد أكثر من نصف ما تحتاج إليه

[تربة متآكلة]

الأرض الصالحة للزراعة تختفي(**)

إن التربة السطحية، وهي عامل حيوي آخر في المحافظة على كميات الأغذية في العالم، هي أيضا في جوهرها مورد غير متجدد: وحتى في نظام بيئي صحي تتوفر له الرطوبة الكافية والمواد العضوية وغير العضوية، قد يتطلب الأمر مئات السنين لتكوين بوصة واحدة من التربة السطحية. وإذا اختفى الغطاء النباتي المثبّت للتربة - عندما تقطع الغابات أو تتحول المراعي إلى أراض صحراوية بسبب الإفراط في الرعي - ستفقد التربة السطحية بفعل الرياح والأمطار. كما تتعرض الأرض الزراعية أيضا للتهديد نتيجة إنشاء الطرق والمباني والاستعمالات غير الزراعية الأخرى.

كيف تهدد الدول الفاشلة الجميع(***)

عندما تعجز حكومة دولة من الدول عن توفير الأمن أو الخدمات الأساسية لمواطنيها، يمكن أن تترتب على الفوضى الاجتماعية الناتجة من ذلك آثار سلبية خطيرة تتجاوز حدود هذه الدولة:

- **انتشار الأمراض**
- **توفير ملاذ آمن للإرهابيين والقراصنة**
- **انتشار بيع المخدرات والأسلحة**
- **دعم التطرف السياسي**
- **توليد العنف واللاجئين الذين يمكن أن يتدفقوا إلى الدول المجاورة.**

(*) Less Soil, More Hunger
(**) Arable Land Is Disappearing
(***) HOW FAILED STATES THREATEN EVERYONE

[ارتفاع درجات الحرارة]
المناخ الحار يؤدي إلى انخفاض الغلة(*)

تشكلت الزراعة كما نعرفها اليوم بفعل نظام مناخي لم يتغير إلا قليلا عبر تاريخ الـزراعة الـذي يرجع إلى 11 000 عام. وتم تطوير معظم المحاصيل لتحقيق أقصى إنتاج في ظل هذه الظروف الثابتة. غير أن ارتفاع درجات الحرارة المتوقع بسبب الاحترار العالمي سوف يؤدي إلى انخفاض غلة المحاصيل مقيسة بإنتاجية كل فدان يحصد. ويعتقد علماء إيكولوجيا المحاصيل أنه في مقابل ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة (1.8 درجة فهرنهيت) عن المعتاد تنخفض غلة محاصيل القمح والأرز والذرة بنسبة 10 في المئة.



رهانات جانبية في لعبة سياسة الأغذية(**)

تحرص دول عديدة على تأمين كميات الأغذية التي ستحتاج إليها في المستقبل عن طريق عقد الصفقات سرا مع الدول المنتجة للحبوب الغذائية للحصول عل حقوق الزراعة فيها. ويؤدي هذا الأسلوب إلى انكماش العرض بالنسبة إلى الدول المستوردة الأخرى وارتفاع الأسعار. ومن أمثلة ذلك:

- تسعى الصين إلى استئجار أراض في أستراليا والبرازيل وبورما (ميانمار) وروسيا وأوغندا.
- تبحث المملكة العربية السعودية عن أراض زراعية في مصر وباكستان وجنوب أفريقيا والسودان وتايلاند وتركيا وأوكرانيا.
- تبحث المؤسسات التجارية الزراعية الهندية عن أراض زراعية في باراغواي وأورغواي.
- تستأجر ليبيا 250 000 فدان في أوكرانيا مقابل التنقيب عن النفط في حقول النفط الليبية.
- تسعى كوريا الجنوبية إلى عقد صفقات للحصول على أراض في مدغشقر وروسيا والسودان.

من الحبوب الغذائية.

أما التهديد البيئي الثالث، والذي يعد أكثر التهديدات التي يتعرض لها الأمن الغذائي انتشارا - وهو ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض - فقد يؤثر في غلة المحاصيل في كل مكان. ففي بلدان كثيرة تزرع المحاصيل في درجات حرارتها المثالية أو قريبا منها، ويمكن لأقل ارتفاع في درجة الحرارة أثناء موسم الزراعة أن يؤدي إلى نقص الحصاد. لقد أكدت دراسة نشرتها الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة الأمريكية قاعدة يعرفها جميع علماء إيكولوجيا المحاصيل: فمقابل ارتفاع درجة مئوية واحدة من درجات الحرارة (1.8 درجة فهرنهيت) فوق المعتاد، تنخفض غلة محاصيل القمح والأرز والذرة بنسبة 10 في المئة.

وفي الماضي، كما هو مشهور تماما عندما أدت الابتكارات في استخدام الأسمدة والري والأصناف العالية الغلة من القمح والأرز إلى «الثورة الخضراء» في الستينات والسبعينات من القرن الماضي، كانت الاستجابة للطلب المتزايد على الأغذية هي التطبيق الناجح للزراعة العلمية: الحل التقاني. أما هذه المرة، فمما يؤسف له أن عددا كبيرا من أكثر الوسائل المتقدمة إنتاجا في مجال التقانة الزراعية قد وضعت مسبقا موضع التنفيذ، وهكذا تتباطأ باطراد الزيادة في إنتاجية الأرض على الأجل الطويل. وبين عامي 1950 و 1990 حقق مزارعو العالم زيادة في غلة الحبوب الغذائية بنسبة أكثر من 2 في المئة سنويا عن كل فدان، وكانت هذه النسبة أعلى من نسبة الزيادة السكانية. ولكن منذ ذلك الوقت تناقص معدل النمو السنوي في الغلة حتى وصل إلى نسبة تزيد قليلا على واحد في المئة. وفي بعض البلدان تظهر غلة المحاصيل قريبة من حدودها العملية، بما في ذلك غلال الأرز في اليابان والصين.

يشير بعض المعلقين إلى سلالات المحاصيل المحوّرة وراثيا كمخرج من مأزقنا. غير أنه مما يؤسف له أن أيا من المحاصيل المحورة وراثيا لم يحقق زيادات مؤثرة في الغلة، مقارنة بما حدث من زيادة غلة القمح والأرز إلى الضعفين أو ثلاثة أضعاف أثناء الثورة الخضراء. ولا يبدو أن ثمة احتمالا لأن يحدث ذلك، ببساطة لأن تقنيات تهجين النباتات التقليدية قد استنفدت فعلا معظم احتمالات زيادة غلة المحاصيل.

المناورة من أجل الغذاء(***)

مع انهيار الأمن الغذائي العالمي بدأت تظهر سياسة أمن غذائي تتسم بالخطورة: ففرادى البلدان التي تتصرف بدافع من مصالحها الذاتية الضيقة تزيد فعلا من تفاقم الحالة السيئة للكثير من الدول. في عام 2007 بدأ هذا الاتجاه عندما لجأت بلدان مصدرة رئيسية للقمح كروسيا والأرجنتين إلى الحد من صادراتها أو حظرها على أمل زيادة كميات الأغذية المتاحة محليا، ومن ثَمّ خفض أسعار الغذاء بشدة. وحظرت فيتنام، ثاني أكبر البلدان المصدرة للأرز في العالم

(*) Hotter Climate Will Reduce Yield
(**) SIDE BETS IN THE GAME OF FOOD POLITICS
(***) Jockeying for Food

ماذا ينبغي أن نفعل؟(*)

تتألف الخطة B، وهي خارطة طريق يقترحها الكاتب لتصحيح مسار العوامل التي تهدد حضارتنا، من أربعة عناصر رئيسية: جهد هائل لخفض انبعاثات الكربون بحلول عام 2020 بنسبة 80 في المئة من المستويات التي وصلت إليها في عام 2006؛ وتثبيت عدد سكان العالم عند 8 بلايين نسمة بحلول عام 2040؛ واستئصال الفقر؛ واستعادة الغابات والتربة ومكامن المياه. ويوضح هذا الإطار عددا من الإجراءات اللازمة لتحقيق هذه الأهداف.

▲ وفّروا الرعاية الصحية الأساسية الشاملة، والرعاية الصحية الإنجابية وتنظيم الأسرة.




▲ استعملوا أنواع الطاقة المتجددة بدلا من الوقود الأحفوري لأغراض توليد الكهرباء والتدفئة.



► ازرعوا الأشجار للحد من الفيضانات، وحافظوا على التربة، واعزلوا الكربون، وأوقفوا إزالة الغابات.



▲ أعيدوا تدوير ماء الصرف لرفع إنتاجيته، كما تفعل هذه المحطة لمعالجة مياه الصرف الصحي في مقاطعة أورانج، بولاية كاليفورنيا.

بعد تايلاند صادراتها لأشهر عدة للسبب نفسه. وقد تبعث هذه التحركات الطمأنينة في نفوس من يعيشون في البلدان المصدرة، غير أنها تخلق حالة من الهلع في البلدان المستوردة التي تضطر إلى الاعتماد على ما يتبقى من الحبوب الغذائية التي يمكن تصديرها على المستوى العالمي.

وإزاء هذه القيود، يسعى مستوردو الحبوب الغذائية إلى إبرام اتفاقات تجارية ثنائية طويلة الأجل يمكن أن تؤمن الحصول على الحبوب الغذائية في المستقبل. فالفلبين، التي لم يعد بوسعها الاعتماد على الحصول على الأرز من السوق العالمي، تفاوضت مؤخرا مع ڤيتنام على صفقة تنفذ على مدى ثلاث سنوات للحصول على 1.5 مليون طن من الأرز كل سنة بطريقة مضمونة تماما. بل إن قلق استيراد الغذاء أدى إلى إقدام البلدان المستوردة للأغذية إلى اتباع طرائق جديدة تماما لشراء الأراضي الزراعية في بلدان أخرى أو استئجارها [*انظر العمود في يمين الصفحة المقابلة*].

وعلى الرغم من هذه التدابير المؤقتة، بدأ الارتفاع الشديد في أسعار الأغذية وتفشي الجوع في بلدان أخرى كثيرة بتقويض أسس النظام الاجتماعي. وفي مقاطعات عديدة من تايلاند، أجبرت عمليات السرقة التي يقوم بها «لصوص الأرز» القرويين على حراسة حقولهم ليلا بالبنادق المعبأة بالذخيرة. وفي پاكستان يرافق كل شاحنة حبوب جندي مسلح. وفي النصف الأول من عام 2008 اختطفت 83 شاحنة محملة بالحبوب الغذائية في السودان قبل أن تصل إلى مخيمات الإغاثة في دارفور.

لا يوجد بلد واحد في مأمن من آثار ندرة كميات الأغذية، ولا حتى الولايات المتحدة

(*) WHAT IS TO BE DONE?

الأمريكية، التي تعد سلة حبوب العالم. وإذا ما اتجهت الصين إلى السوق العالمي للحصول على كميات ضخمة من الحبوب الغذائية، كما فعلت مؤخرا للحصول على فول الصويا، سيتعين عليها الشراء من الولايات المتحدة الأمريكية. وبالنسبة إلى المستهلكين في الولايات المتحدة الأمريكية، فإن ذلك يعني التنافس على محصول الحبوب الغذائية الأمريكي مع 1.3 بليون مستهلك صيني ترتفع دخولهم بسرعة – وهو سيناريو أشبه بالكابوس. وفي هذه الظروف سوف تتعرض الولايات المتحدة الأمريكية لإغراء فرض قيود على صادراتها، كما فعلت، مثلا، بالنسبة إلى الحبوب الغذائية وفول الصويا في السبعينات من القرن الماضي عندما ارتفعت الأسعار المحلية ارتفاعا شديدا. غير أن هذا الخيار غير وارد بالنسبة إلى الصين. فالمستثمرون الصينيون يمتلكون في الوقت الراهن ما يزيد كثيرا على التريليون دولار أمريكي، كما أنهم كانوا في أغلب الحالات المشترين الأهم على المستوى الدولي لسندات الخزانة الأمريكية الصادرة لتمويل العجز المالي. وشئنا أم أبينا، فإن المستهلكين الأمريكيين سوف يقتسمون حبوبهم مع المستهلكين الصينيين، بصرف النظر عن مدى ارتفاع أسعار الأغذية.

الخطة B: خيارنا الوحيد(*)

وبما أن النقص الحالي في الغذاء العالمي هو نقص تمليه اتجاهات التغير، فإنه يجب عكس مسار الاتجاهات البيئية التي تسببه. ويتطلب ذلك إجراءات قاسية إلى درجة غير عادية، ونقلة جبارة تبتعد بنا عن أسلوب العمل المعتاد – الذي نطلق عليه في معهد سياسات الأرض الخطة A – إلى الخطة B لإنقاذ الحضارة.

تشبه الخطة B في أبعادها وضرورتها عملية التعبئة الأمريكية للحرب العالمية الثانية، فهي تتكون من أربعة عناصر: جهد هائل لخفض انبعاثات الكربون بحلول عام 2020 بنسبة 80 في المئة من المستويات التي وصلت إليها في عام 2006؛ وتثبيت عدد سكان العالم عند 8 بلايين نسمة بحلول عام 2040؛ واستئصال الفقر؛ واستعادة الغابات والتربة ومكامن المياه.

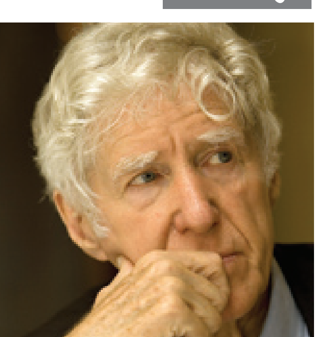
ويمكن خفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الصافية عن طريق رفع كفاءة استهلاك الطاقة بصورة منتظمة وضخ استثمارات هائلة في مجال تنمية مصادر الطاقة المتجددة. كما يتعين علينا أيضا حظر إزالة الغابات في جميع أنحاء العالم، كما فعلت بلدان عديدة مسبقا، وغرس بلايين الأشجار لإزاحة الكربون من الغلاف الجوي. ويمكن دعم الانتقال من أنواع الوقود الأحفوري إلى أشكال الطاقة المتجددة من خلال فرض ضريبة على الكربون، وتعويض هذه الضريبة بخفض ضرائب الدخل.

يواكب تثبيت عدد السكان استئصال الفقر. وفي الحقيقة، فإن مفتاح التعجيل بالانتقال إلى أسر أقل عددا هو استئصال الفقر – والعكس صحيح. ومن وسائل تحقيق ذلك، تأمين الحصول على التعليم الابتدائي على الأقل لجميع الأطفال، بنين وبنات. ومن الوسائل الأخرى توفير الرعاية الصحية الأولية على مستوى القرية، حتى يطمئن الناس إلى أن أبناءهم سيعيشون حتى سن البلوغ. كما يتعين أن تحصل المرأة في كل مكان على الرعاية في مجال الصحة الإنجابية وخدمات تنظيم الأسرة.

يشمل العنصر الرابع، وهو استعادة النظم الطبيعية للأرض ومواردها، مبادرة عالمية لوقف انخفاض مناسيب المياه وذلك عن طريق زيادة إنتاجية الماء: أي استعمال كل قطرة ماء فيما يفيد. إن معنى ذلك أن نتحول إلى أنظمة ري أكثر كفاءة، ومحاصيل ذات كفاءة مائية أعظم. كما يعني، بالنسبة إلى بعض البلدان، زراعة (وتناول) قمح

(*) Plan B: Our Only Option
(١) Plan B 3.0: Mobilizing to Save Civilization

المؤلف



Lester R. Brown

*كما تصفه الواشنطن بوست هو «واحد من أكثر مفكري العالم تأثيرا». أطلقت عليه جريدة التلغراف التي تصدر في كلكتا «المرشد الروحي للحركة البيئية». وقد أنشأ «براون» معهد Worldwatch (في سنة 1974) ومعهد سياسات الأرض Earth Policy Institute (في سنة 2001) الذي يرأسه اليوم. وقد ألف أو شارك في تأليف خمسين كتابا؛ وأحدث أعماله هو: **الخطة 3B: الحشد لإنقاذ الحضارة**(١). وقد حصل «براون» على العديد من الجوائز وشهادات التقدير، تشمل 24 درجة علمية فخرية وزمالة ماك آرثر.*

أكثر وأرز أقل، إذ إن الأرز محصول يحتاج إلى كثير من الماء. وفيما يتعلق بالصناعات والمدن، فإنه يعني أن نفعل ما بدأ البعض يفعله مسبقا، وهو إعادة استخدام الماء بصفة مستمرة.

وفي الوقت نفسه، يجب علينا أن نطلق حملة على المستوى العالمي للمحافظة على التربة، شبيهة بتلك التي شنتها الولايات المتحدة علاجا لظاهرة **البوتقة الغبارية** Dust Bowl في الثلاثينات من القرن الماضي. ومن أهم تدابير المحافظة على التربة زراعة المصاطب، وزراعة الأشجار لتكون مصدات للرياح لمكافحة تآكل التربة بفعل حركة الرياح، والتزام الحد الأدنى من حراثة الأرض - بحيث لا تقتلع التربة وتترك بقايا المحاصيل في الحقل.

ليس ثمة جديد في هذه الأهداف الأربعة المتداخلة. فقد نوقش كل منها على حدة لسنوات. بل لقد أنشأنا في واقع الأمر مؤسسات كاملة لمعالجة بعض هذه الأهداف، كالبنك الدولي للتخفيف من وطأة الفقر. وقد أحرزنا تقدما ملموسا في بعض مناطق العالم فيما يتعلق بواحد منها على الأقل - وهو تعميم خدمات تنظيم الأسرة وما يتصل بذلك من التحول إلى الأسر الأقل عددا، الأمر الذي يؤدي إلى تثبيت عدد السكان.

ويرى كثيرون في مجال التنمية أن الأهداف الأربعة للخطة B هي أهداف إيجابية، تشجع على التنمية ما دامت لا تترتب عليها تكاليف ضخمة. ويراها آخرون أهدافا إنسانية - صحيحة من الناحية السياسية وملائمة من الناحية الأخلاقية. ويظهر الآن أساس منطقي ثالث أكثر رسوخا: وهو أن تحقيق هذه الأهداف قد يكون ضروريا للحيلولة دون انهيار حضارتنا. ومع ذلك، فالتكلفة التي نتوقعها لإنقاذ الحضارة قد تصل إلى مبلغ يقل عن 200 بليون دولار سنويا، أي سدس الإنفاق العسكري العالمي. والواقع أن الخطة B هي ميزانية الأمن الجديدة.

الوقت: أكثر مواردنا ندرة(*)

لا يتمثل التحدي الذي نواجهه بتنفيذ الخطة B فحسب، بل بسرعة تنفيذها. فالعالم في سباق بين نقاط التحول السياسية ونقاط التحول الطبيعية. هل نستطيع إغلاق محطات توليد الطاقة التي تحرق الفحم الحجري بالسرعة الكافية للحيلولة دون انزلاق الغطاء الثلجي لگرينلاند في البحر وإغراق سواحلنا؟ وهل نستطيع خفض انبعاثات الكربون بالسرعة الكافية لإنقاذ المثالج الجبلية في آسيا؟ إن المياه الناتجة من ذوبان هذه المثالج تُبقي على الأنهار الكبرى في الهند والصين أثناء موسم الجفاف - ومن ثَمّ تبقي على حياة مئات الملايين من الأشخاص. هل يمكننا تثبيت عدد السكان قبل أن يدهمنا نقص المياه التي تحتاج إليها بلدان كالهند وپاكستان واليمن لري محاصيلها؟

لا يمكن أن تكون هناك ثمة مبالغة في تقديرنا لمدى خطورة المأزق الذي نواجهه. فكل يوم له أهميته. ولسوء الحظ، فإننا لا نعرف المدى الزمني الذي سنستمر فيه بإنارة مدننا بالفحم الحجري، على سبيل المثال، قبل أن لا نستطيع إنقاذ صفيحة گرينلاند الجليدية. إن الطبيعة هي التي تحدد مواعيد ذلك، فالطبيعة هي الحافظة للزمن. ولكننا نحن البشر لا نستطيع رؤية الساعة.

إننا بحاجة شديدة إلى طريقة جديدة في التفكير، إلى توجه عقلي جديد. فالتفكير الذي أوصلنا إلى هذا المأزق لن يخلصنا منه. وعندما سألت <E. كولبيرت> [وهي كاتبة في مجلة **نيويوركر** *New Yorker*] المرشد الروحي في شؤون الطاقة <A. لوڤينز> عن التفكير خارج نطاق المألوف، رد عليها قائلا: «لا يوجد ما هو مألوف».

لا يوجد ما هو مألوف، هذه هي طريقة التفكير التي يتعين علينا الانطلاق منها إذا أردنا للحضارة أن تبقى. ■

(*) Time: Our Scarcest Resource

مراجع للاستزادة

Outgrowing the Earth: The Food Security Challenge in an Age of Falling Water Tables and Rising Temperatures. Lester R. Brown. W. W. Norton, Earth Policy Institute, 2004. Available at **www.earthpolicy.org/Books/Out/Contents.htm**

Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed. Jared Diamond. Penguin, 2005.

Climate Change 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007. Available at **www.ipcc.ch**

Plan B 3.0: Mobilizing to Save Civilization. Lester R. Brown. W. W. Norton, Earth Policy Institute, 2008. Available at **www.earthpolicy.org/Books/PB3**

***Scientific American*, May 2009**

الدور الحيوي المزدوج للجزيء ATP(*)
(ثلاثي فوسفات الأدينوزين)(١)

إضافة إلى الدور المعروف للجزيء ATP(١) كمصدر أساسي للطاقة داخل خلايا الجسم، فإنه يعمل أيضا كناقل للإشارات المهمة بينها . ويطرح هذا الدور المزدوج أفكارا جديدة لمحاربة الأمراض في الإنسان.

<B. S. خاخ> ـ <G. بيرنستوك>

لعل واحدة من الحقائق الأولى الراسخة التي يتعلمها معظم الطلبة في دروس علم الأحياء هي أن جميع الخلايا الحية تستمد وقودها الحيوي من الجزيء الصغير المعروف باسم **ثلاثي فوسفات الأدينوزين** (ATP)(١). ويتيح التعامل بتلك العملة الموحدة العامة بدء وتشغيل التفاعلات الكيمائية الحيوية اللازمة لوظيفة الخلية ولازدهار الحياة، مما يجعل للجزيء ATP دورا حاسما في عالم الحياة.

وأما المعلومة الأخرى، والأقل شيوعا ، فهي قيام هذا الجزيء الذي ربما يكون أكثر الجزيئات التي ينتجها ويستهلكها الجسم، بدور آخر من خارج الخلايا ولا علاقة له بدوره الأول ، وإن كان لا يقل أهمية عنه. وقد أوضحت سلسلة طويلة من الاكتشافات، بما لايدع مجالا للشك ، أن للجزيء ATP دورا حيويا كناقل للإشارات، مما يتيح التواصل بين مختلف خلايا وأنسجة الجسم. وبذلك يمكن اعتباره بحق الوقود الحيوي المنتشر في كل مكان، مثل اللغة العامة.

قوبلت فكرة الدور المزدوج للجزيء ATP، عندما طرحت لأول مرة قبل نحو خمسين عاما، بكثير من الشك والاعتراض، غير أن كم المعلومات الهائل المستخلص من الأبحاث التي أجريت خلال الخمسة عشر عاما الماضية، أوضح بالتفصيل كيفية عمل الجزيء ATP على جدران الخلايا من خارجها، وكيف يسهم في نمو مختلف الخلايا والأنسجة وفي أسلوب عملها اليومي . ونظرا لوفرة الجزيء ATP، فإن إشاراته ورسائله تتميز بتأثيرها الواسع في الوظائف الفسيولوجية، وتمنح فرصا واحتمالات متنوعة ومتعددة، وغير عادية، لتحسين صحة الإنسان . وتتسابق حاليا العديد من المراكز البحثية من جميع أرجاء العالم، من أجل تحويل تلك الاحتمالات إلى وسائل علاجية.

الكشف عن خبايا الجزيء ATP مرتين(**)

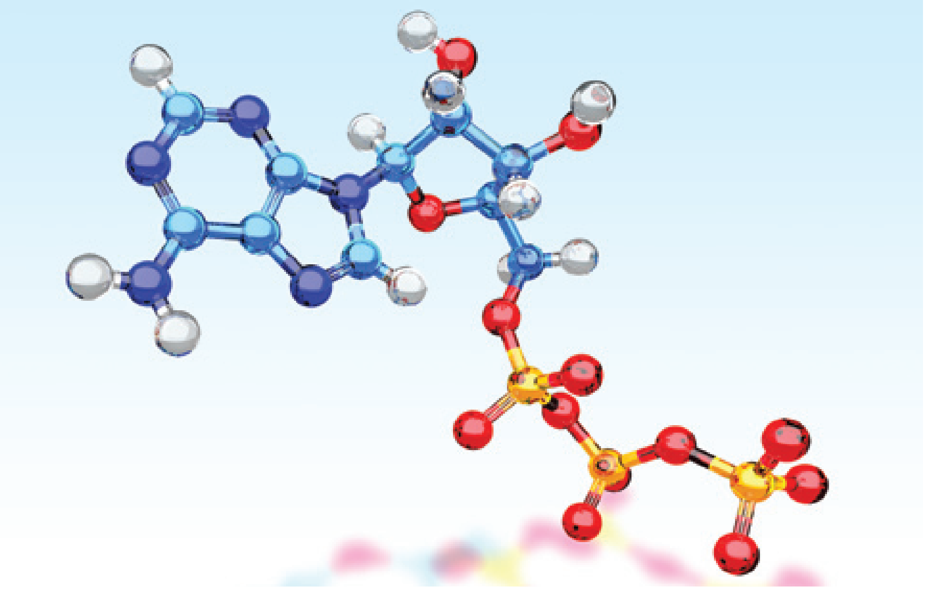
كان الباحثون في العالم يسعون إلى معرفة المصدر المبهم والمحير للطاقة اللازمة لحياة الخلية، عندما تم اكتشاف الجزيء ATP في عام 1929 . ففي وقت متقارب، قام كل من <K. لومان> [الذي كان يعمل حينها، مع <A. مايرهوف> الحائز على جائزة نوبل عام 1922، بمعهد كايزر فيلهلم للأبحاث الوطنية في مدينة هايدلبرگ بألمانيا]، وكذا <C. H. فيسك> بمعاونة طالب الدراسات العليا <W. سوبارو> [من كلية الطب بجامعة هارڤارد]، بالتوصل إلى أن التفاعلات التي تتم داخل الخلايا والتي تمهد الطريق إلى انقباض الخلايا العضلية، تعتمد على

مفاهيم مفتاحية

- إضافة إلى الدور المعروف للجزيء ATP، باعتباره المصدر المشترك العام للطاقة الحيوية داخل الخلايا، فإنه يعمل أيضا كحامل وناقل للإشارات التي تعمل على مستوى الجزيئات وتؤثر في أسلوب أداء الخلايا لوظائفها.
- يصف أحد الباحثين الرواد ومكتشف الدور الناقل لإشارات الجزيء ATP آلية عمل نقله للرسائل، كما يشرح ضرورتها لنمو الجسم وأدائه لوظائفه الأساسية.
- نظرا لوجود الجزيء ATP في كل مكان في الجسم، وبما أن تأثيراته تختلف من نسيج إلى آخر، فهو يتيح بذلك مجالا واسعا لتأملات عميقة جديدة هادفة إلى فهم طبيعة عدد هائل من الأمراض وسبل متنوعة لمعالجتها.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE DOUBLE LIFE OF ATP
(**) ATP Unmasked, Twice
(١) Adenosine Triphosphate؛ ثلاثي فوسفات الأدينوزين.



وجود مـادة كيميائية مصنعـة من الجزيء المعروف باسـم **بيورين** purine، وهي عبارة عن **الأدينوزين** adenosine الناجم عن اتحاد المـادة القاعدية «**أدينـين**» adenine مع أحد السـكريات، مضافا إليه ثلاثة جزيئات من الفوسفات. ومضت سنوات حتى عام 1935 حيث طرح <K. ماكينو> [من مستشفى ديلين في منشوريا] تصورا لتركيب الجزيء، وهو ما أيده بعد ذلك بعشـر سـنوات الباحثان <B. ليثكـو> و <A. R. تـود> من المختبرات الكيميائية في كامبريدج.

لم يخطر ببال أحد في ذلك الحين أن يكون للجـزيء ATP أي دور خـارج الخلايا. وبقي الحـال كما هو عليه حتى عام 1962، حيث كان أحدنا (<بيرنستوك>) مازال باحثا شابا في علم وظائف الأعصاب بجامعة ملبورن في أستراليا وكان يقوم بدراسـة الأعصاب التي تتحكم في انقباض وارتخاء الأنسـجة العضلية الملسـاء. وفـي أثناء تجاربه على الإشـارات النابعة من الجهاز العصبي الـلاإرادي (الذي يتحكم في الوظائف الأساسـية للعضلات الملسـاء، مثل انقباض الأمعاء والمثانة)، وجد دليلا على صدور بعض الإشـارات وانتقالها من دون استعمال المـواد الكيميائية التقليدية الناقلة للإشـارات العصبية، وهي **الأسيتيل كولين** acetylcholine و**النورأدرينالـين** noradrenaline. وقـد أثارت اهتمامه النتائج التي نشرتها <P. هولتون> [من مختبر الفسيولوجيا في جامعة كامبريدج] عام 1959 والتي تشـير إلى إفـراز الجزيئات ATP بواسـطة بعض الأعصاب الحسـية. بعد ذلك، عقد <بيرنسـتوك> العزم على إجراء الأبحاث بهدف تحديد ما إذا كان الجزيء ATP مسؤولا أيضا عـن انتقال الإشـارات مـن الأعصاب المسـؤولة عن الحركة إلى العضلات. ومن هذا المنطلق، شـرع في إجراء سلسلة من التجارب التي اسـتعمل فيهـا بعض المـواد الكيميائية المعروفـة بقدرتها علـى منع إفـراز الأطراف العصبيـة لناقلات الإشـارات المعروفة آنذاك، ومـن ثم منـع تأثيرها في أنسـجة العضلات الملساء. وقد استطاع بذلك أن يبين أن ما تبقى من فعل لإثارة الأعصاب على العضلات ، لابد وأن يكـون معتمدا على إفـراز الأعصاب لمادة الجـزيء ATP. وبمتابعة هـذا الخيط لأكثر من عشر سنوات، استجمع فيها <بيرنستوك> ثقته بعمله، قام في عام 1972 بالإفصاح عن اقتراحه بوجود «**الأعصـاب البيورينية**»[1] التي تفرز الجزيء ATP كمادة ناقلة للإشارات العصبية.

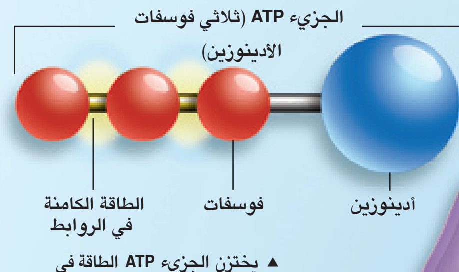
تجـدر الإشـارة هنـا إلـى أن الخلايا العصبية تولد في بداية الأمر إشـارات على هيئة موجات كهربائيـة ، تنتقل بطول الفرع الرئيسي للخلية حتى نهايته، ولا تنتقل الإشارة إلى ما يلي ذلك من خلايا بطريقة مباشـرة . حيث تنتهي الموجة الكهربائية بوصولها إلى نهاية الفـرع . ولا تتخطى الفجوة الصغيرة بين نهاية العصب والخلية المسـتهدفة ، تلك الفجوة المعروفة باسم synaptic cleft بمعنى الفجـوة بين نهايـة العصب وبداية سـطح الخلية المغذاة بالعصب، أو الفجوة المشبكية. ومن ثم، تنتقل الإشـارة من خلية إلى أخرى بإطـلاق نهايـة العصب المثـار لبعض مما يحتويـه من مواد كيميائية ناقلة للإشـارات مثـل الأسـيتيل كولـين، وأمـلاح حمض الگلوتاميك و**الدوپامـين** dopamine وغيرها. بعد ذلك، تقوم تلك الكيميائيات بعبور الفجوة المشـبكية لتتحد ببروتينات المستقبلات على جدار الخلايا المقابلة، حيث تؤثر فيها وتبدأ سلسـلة من التفاعلات داخل الخلية، يَحْدُثُ علـى أثرها تغيير في نشـاط الخلايا، فإذا كانت الخلية المسـتقبلة خلية عصبية أخرى، فإنها تنشط وتبدأ بإطلاق إشارتها الخاصة، أما إذا كانت خلية عضلية فإنها تسـتجيب

(١) "purinergic nerves"

[أدوار مزدوجة]

الجزيء ATP داخل الخلايا . . . وخارجها(*)

يتعلم الطلبة بشكل تقليدي أن الجزيء ATP (ثلاثي فوسفات الأدينوزين) الصغير هو مصدر أساسي للطاقة الخلوية؛ فهو يقدم الوقود اللازم للأنشطة الكيميائية المختلفة على مستوى تفاعل الجزيئات، مما يتيح لجميع الخلايا القيام بوظائفها وازدهارها *(انظر الشكل أدناه)*. ولا تستهلك أنشطة الخلية جميع الجزيء ATP الموجود داخلها. وتفرز كافة أنواع الخلايا الجزيء ATP لإبلاغ رسائل إلى الخلايا المجاورة *(انظر الشكل الأيسر)*.

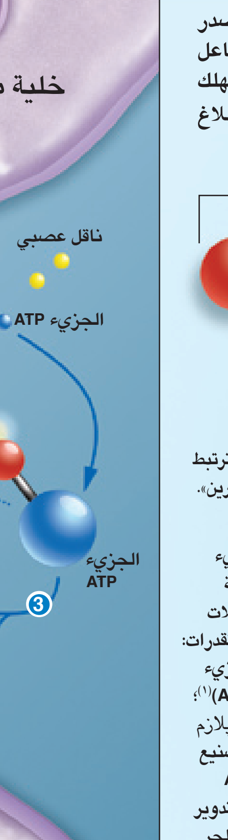


▲ يختزن الجزيء ATP الطاقة في الروابط بين فوسفاته الثلاث، التي ترتبط بالأدينوزين المنتمي إلى جزيء «البيورين».

► تقوم الجسيمات المعروفة باسم المتقدرات mitochondria داخل الخلايا بتصنيع الجزيء ATP من مواد خام كالبروتونات (H+) الناجمة عن تعرض الغلوكوز لمراحل متعددة من التفاعلات الكيميائية. وتحدث التفاعلات الآتية داخل المتقدرات: ① تقدم البروتونات الطاقة اللازمة لإضافة جزيء فوسفات إلى الأدينوزين الثنائي الفوسفات (ADP)(١)؛ ثم يخرج الجزيء ATP من المتقدرات إلى السيتوبلازم cytoplasm. ② تستمد أنشطة الخلية، مثل تصنيع البروتينات، الطاقة اللازمة لها من الجزيئات ATP وذلك بفصل جزيئات الفوسفات الطرفية ③. يُعاد تدوير الجزيء ADP الناتج بإضافة جزيئات الفوسفات الحر ليتحول مرة أخرى إلى الجزيء ATP ④.

خلية
الجزيء ADP
بروتون (H^+)
فوسفات
متقدرة
الجزيء ATP
فوسفات متحررة
طاقة منطلقة
نواة

خلية مفرزة
حُويصلة
ناقل عصبي



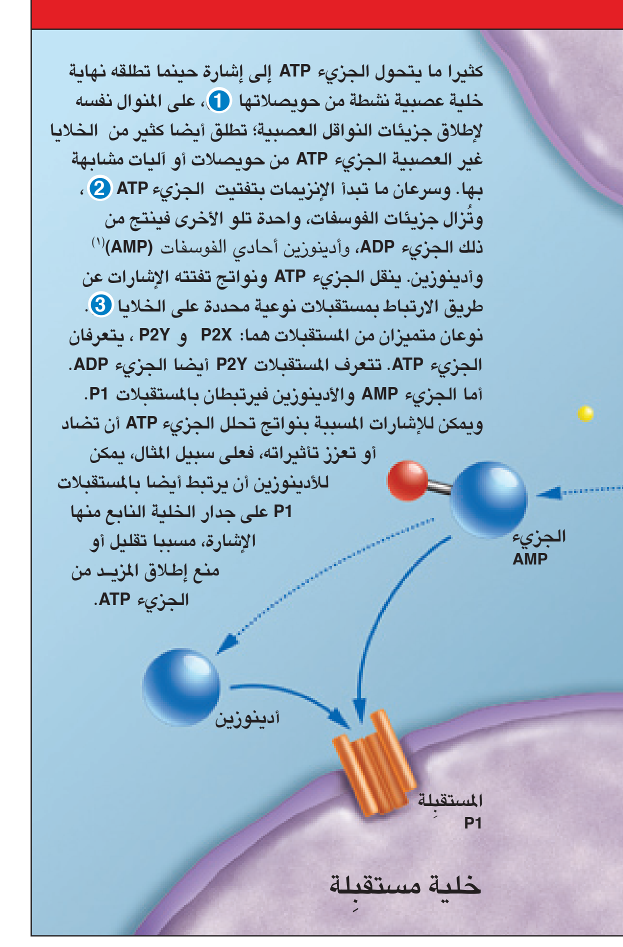
الجزيء ADP
تفتيت إنزيمي
الجزيء ATP
المستقبِلة P2Y
المستقبِلة P2X

في النهاية إما بالانقباض أو الارتخاء. وعلى ذلك، فإن الرسالة تنتقل عبر رحلتها من خلية عصبية إلى أخرى من خلال تناوب إرسال الإشارات الكهربائية وإطلاق كميات من المواد الكيميائية الناقلة للإشارة.

وقد ساد الاعتقاد لمدة طويلة أن الأطراف والنهايات لأفرع خلايا الأعصاب المفردة، تطلق نوعا واحدا فقط من الكيميائيات الناقلة للإشارة. وتبعا لذلك، فقد سميت الخلايا العصبية تبعا لنوع الناقل العصبي الذي تستخدمه، فسميت تلك التي تفرز الأسيتيل كولين باسم **الخلايا العصبية الكولينية** cholinergic neurons، وتلك التي تطلق الدوپامين **بالدوپامينية** dopaminergic neurons وهكذا. جدير بالذكر أن مفهوم «بيرنستوك» عن الخلايا العصبية اليورينية لم يُبْنَ تأسيسا على ملاحظاته فقط بهذا الشأن، بل تأسس أيضا بناء على الأعمال السابقة لسلسلة من الدارسين والمعاونين المتميزين، بمن فيهم <M. بينيت> و<G. كامپل> و<D. ساتشل> و<M. هولمان> و<M. راند> [من جامعات ميلبورن ولندن].

وعلى الرغم من الكم الهائل لنتائج الأبحاث التي تبين انطلاق الجزيء ATP من أطراف الخلايا العصبية إلى أنسجة العضلات الملساء والأمعاء والمثانة، إلا أن الشك ظل ملازما لعدد كبير من المتخصصين بعلم وظائف الأعصاب حول وجود مثل تلك الخلايا. يرجع ذلك أساسا إلى تفكيرهم في استبعاد احتمال قيام هذه المادة الواسعة الانتشار، بمثل هذا الدور النوعي المحدد. إضافة إلى ذلك، وحتى يتسنى لأي جزيء أن يقوم بدور ناقل كيميائي للإشارات العصبية، فلابد من وجود مستقبلة ملائمة له على سطح الخلايا المستهدفة. هذا ويوضع في الاعتبار أن تعرّفَ أول مستقبلة لناقلات

(*) ATP INSIDE CELLS... AND OUTSIDE
(١) Adenosine Diphosphate



الإشـــارات عموما، لم يتم إلا في عام 1970، ومنـذ ذلك الحـين انطلق السـباق لتعرف مستقبلات الجزيء ATP.

وعلى أية حال ، وقبل تعرف المستقبلات وتحديدهـا، فقد دأب العديـد من الباحثين على اسـتخدام الوسـائل الفارماكولوجية (الدوائيـة) لتقصي كيفية قيام الجزيء ATP المنطلق من نهايـات الخلايا العصبية، بنقل رسـائل الأعصـاب إلى الخلايـا العضلية وغيرها في الجسـم. وبناء على هذه النوعية من الأبحـاث، تقدم <بيرنسـتوك> في عام 1978 باقتراحه بوجود أكثر من نوع مختلف من مسـتقبلات الجـزيء ATP، أطلق على الأول اسم المستقبلة P2 (نسبة إلى البيورين وهو النواة الأساسية في الجزيء ATP) وهي خاصـة بالتفاعل مع الجـزيء ATP، وأطلق على الآخر اسـم المستقبلة P1، وهي خاصة بالتفاعـل مـع الأدينوزين باعتبـاره المنتج النهائي بعد تحلل الجزيء ATP وتكسيره. وقد أظهرت الدراسات التي تلت ذلك أن تنبيه المستقبلات P2 بواسطة الجزيء ATP يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات متفاوتة في الخلايا. مما أتاح لـ <بيرنستوك> ومعاونه <Ch. كينيدي> توقع وجود أنماط فرعية من المستقبلات P2 فأطلقوا عليها P2X و P2Y.

وظل الخلاف قائما حول فكرة وجود أعصاب تطلق الجزيء ATP كناقل للإشارات، بل وتم رفضها من قبل الكثيرين لعدة سنوات تالية، وفي التسعينات من القرن الماضي تطورت الوسائل البحثية وأتيحت الأبحاث الجزيئية، مما سمح لعدد كبير من الفرق البحثية باستخلاص وعزل المستقبلات الخاصة بالجزيء ATP، ومن ثم دراسة واستكشاف التأثيرات المتعددة المدهشة في خلايا الجهاز العصبي وغيره من الأنسجة.

تداخل التأثيرات والآليات(*)

شهد مطلع التسعينات من القرن الماضي بداية مشروع **الجينوم البشري** the Human Genome وبداية عصر الاكتشافات الغزيرة للجينات المسؤولة عن تشكيل وتصنيع بروتينات مهمة كثيرة في جسم الإنسان والتي تضمنت عددا كبيرا خاصا بتصنيع مستقبلات الجزيء ATP، مما أتاح للعلماء تحديد مواقع المستقبلات ذاتها على خلايا كثيرة متنوعة. وبهذا دخلت دراسات انتقال الإشارات العصبية باستعمال الجزيء ATP إلى عصر جديد مليء بالإثارة. وقد أثبتت محاولات تحديد التركيب الجزيئي للمستقبلات البيورينية وجود كم كبير من أنواع تلك المستقبلات، كما تم تعرف عدد من القنوات والإنزيمات المنتشرة على جدران الخلايا والتي تشارك في تكوين إشارات الجزيء ATP.

وكما كان متوقعا، فقد تم تعرف وتحديد مجموعتين عريضتين من المستقبلات، كذلك كشفت الأبحاث عن وجود أنماط فرعية عديدة منها، تفوق ما كان متصورا وجوده

(*) Interplay and Dynamics
(**) ATP SIGNALING: A BRIEF HISTORY
(1) Adenosine Monophosphate

إشارات الجزيء ATP: لمحة تاريخية(**)

1929
اكتُشف أن الجزيء ATP هو مصدر الطاقة في النسيج العضلي.

1929
وَجد <A. زنت- جيورجي> أن للبيورينات (مجموعة الجزيء ATP الكيميائية) تأثيرات قوية في القلب. ▼


<A. زنت - جيورجي>

1945
تأكيد تركيب البنية الكيميائية للجزيء ATP.

1959
كشفت <P. هولتون> عن إطلاق الأعصاب الحسية للجزيء ATP.

1962
برهن <G. بيرنستوك> على انتقال الرسائل من نهايات الأعصاب إلى العضلات بوساطة ناقل عصبي جديد. ▼


<بيرنستوك> و <M. هولمان> 1962

1972
اقترح <بيرنستوك> وجود أعصاب تبعث إشاراتها باستخدام الجزيء ATP.

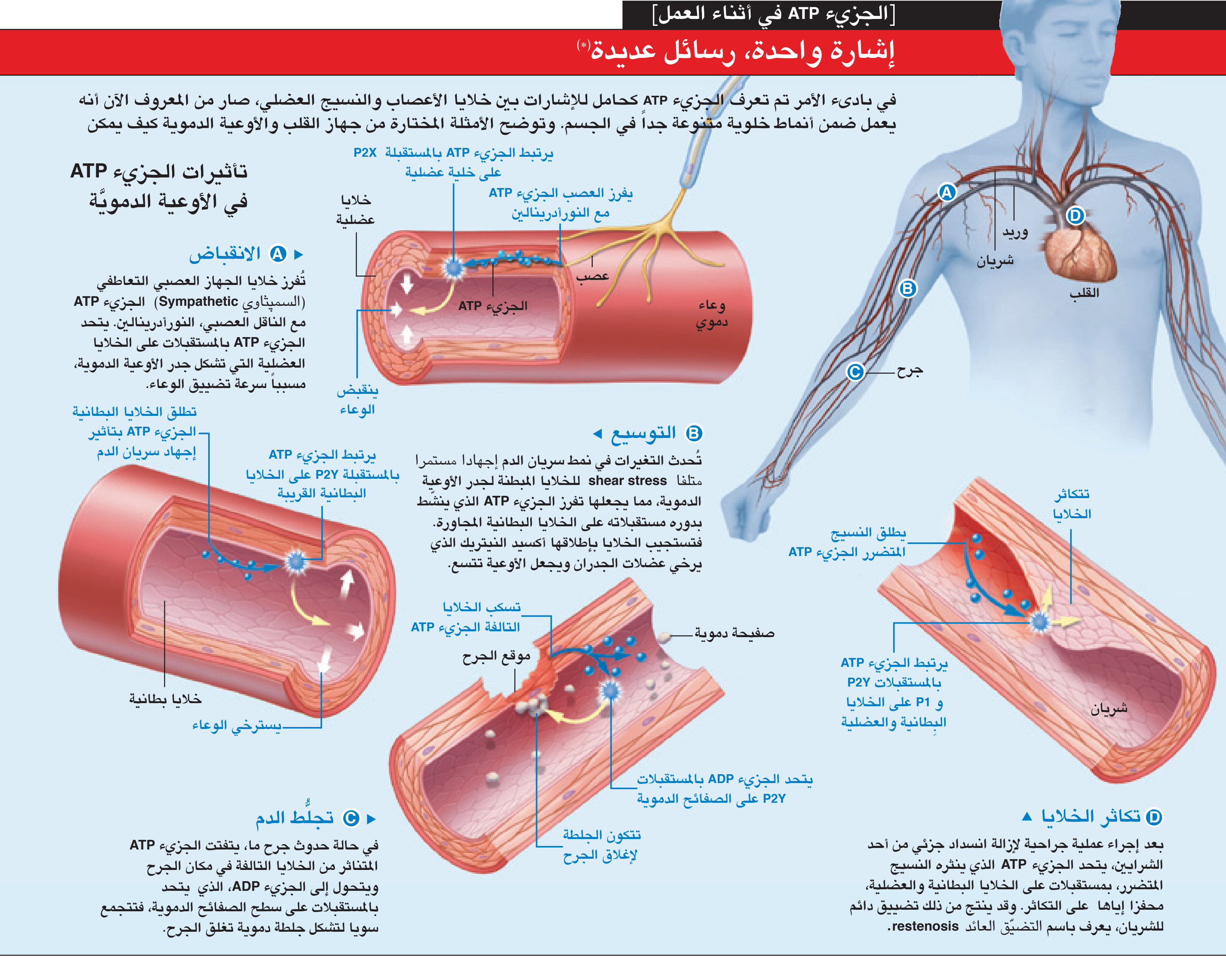
1976
اقترح <بيرنستوك> عمل الجزيء ATP كناقل مشارك مع نواقل الإشارات العصبية الأخرى.

1993و1994
تم فصل وتحديد المستقبلات P2X وP2Y من الخلايا.

1998
تم طرح الكلوبيدوگريل في الأسواق، وهو دواء يؤثر في المستقبلات P2Y الموجودة على الصفائح الدموية، لمنع تكوين الجلطات في الأوعية الدموية.

2009
تم الكشف عن تكوين البنية البلورية للمستقبلة P2X: الأمر الذي يتوقع أن يساعد على اكتشاف أدوية جديدة. ◄

المستقبلة $P2X_4$



فــي إطار هاتــين المجموعتــين. ودل وجود هذا التنوع علــى إمكانية اســتعمال أدوية علــى درجة عالية من الكفــاءة الانتقائية في تأثيراتها بحيث يمكن تعديل فعل إشـــارات الجزيء ATP في نوع معين فقط من الأنسجة أو الخلايا. وقد بدأت ثمار هذا العمل تظهر اليوم [*انظر الجدول في الصفحة 75*].

أفادت نتائج دراســـات مختلف الباحثين بعد العزل الأولي لمســتقبلات الجزيء ATP، أن أسلوب عمل المســتقبلات يختلف بشكل جذري في كلتا المجموعتين العريضتين. فمن المعروف أن المستقبلات المسماة بالمستقبلات P2X تنتمي إلى عائلة كبيرة من المســتقبلات التي تتحكم في فتح وإغلاق القنوات المنتشرة على أســطح الخلايا والتي تتحكم في مرور الأيونات مــن وإلى داخل الخلايا، وجميعها تقع تحت التحكم المباشر لناقلات الإشارات. وقد أوضح أحدنا (حخاخ) وباحثون آخرون أن اتحــاد الجزيء ATP بالمســتقبلات P2X ينتج منه إعادة تشــكيل مكونات المستقبلة، لتنفتـــح فعليا قناة في جدار الخلية تســمح باندفاع أيونات الصوديوم وكميات كبيرة من أيونات الكالســيوم إلى داخل الخلايا. وفي المقابل، فإن المستقبلات P2Y لا تنفتح بذات الأســلوب، ولكن اتحاد الجزيء ATP بطرف

(*) ONE SIGNAL, MANY MESSAGES

لتأثيرات الجزيء ATP أن تكون متنوعة في طبيعتها وفي مدة استمرارها.

أنماط المستقبلات

تأخذ المستقبلات الخلوية الجزيء ATP شكلين أساسيين. تتكون المستقبلة من النمط P2X من قناة تخترق جدار الخلية، وهي تنفتح حينما يتحد الجزيء ATP بقسمها الواقع على الجدار من خارج الخلية؛ مما يسمح لأيونات الكالسيوم والصوديوم بالاندفاع إلى داخل الخلية. وعندما يتحد الجزيء ATP بالمستقبلة التابعة للنمط P2Y، تحدثُ سلسلة من الإشارات والتفاعلات الداخلية، تنتهي بتحرير أيونات الكالسيوم من مخازنه داخل الخلية. وفي كلتا الحالتين، بوسع ارتفاع الكالسيوم الناتج، أن يطلق زناد أحداث قصيرة الأمد كانقباض العضلات. كما يمكن أيضا لتنشيط المستقبلات P2Y أن يحدث مزيدا من التفاعلات الكيميائية ويؤثر في نشاط الجينات مما يؤدي إلى تأثيرات طويلة الأمد، كتكاثر الخلايا.

أيون كالسيوم
أيون صوديوم
الجزيء ATP
الجزيء ATP
القناة P2X
المستقبلة P2Y
تسلسل الإشارات
تأثيرات قصيرة المدى
تأثيرات بعيدة المدى
نواة
دنا
مخزن أيونات الكالسيوم
خلية مستقبِلة

المستقبلة الخارجي على سطح الخلية، يبدأ سلسلة من التفاعلات الكيميائية داخل الخلايا ينتج منها في النهاية تحرر وانطلاق الكالسيوم من مخازنه الخلوية. وفي كلتا الحالتين ، فإن باستطاعة زيادة الكالسيوم إحداث تأثيرات جزيئية تالية تؤثر في أسلوب ونمط عمل الخلية.

ومع قصر المدة التي يقضيها الجزيء ATP في الفجوة المشبكية، إلا أن نتيجة تأثير وتفعيل المستقبلات في نشاط الخلايا قد يظهر في بعض الأحيان بسرعة قد تصل إلى بضعة أجزاء من الألف من الثانية، في حين يكون الأثر بطيئا فيستغرق سنوات عدة.

وعلى سبيل المثال، وكما أوضح <خاخ> في نسيج المخ، فإن تدفق أيونات الكالسيوم عبر قنوات المستقبلات P2X إلى داخل الخلايا، قد يحث الخلية على تحرير وإطلاق نواقل أخرى للإشارات، أو أن يؤدي الكالسيوم المتحرر داخل الخلية نتيجة تنشيط المستقبلات P2Y إلى تغيير نشاط الجينات المسؤولة جزئيا عن نمو وتكاثر الخلايا فتحدث تغييرات في الأنسجة تستمر عواقبها طوال العمر. وعلى ذلك، ومع شدة قصر مدة وجود الجزيء ATP في المناطق خارج الخلايا إلا أن آثاره البيولوجية قد تنتشر على نطاق واسع.

تبدو آليات نقل الإشارات بالجزيء ATP أكثر إدهاشا عندما تؤخذ تفاعلاتها مع نظم نقل الإشارات الأخرى خارج الخلايا في الحسبان. فهناك، على سبيل المثال، مجموعة من الإنزيمات التي تقبع على سطح معظم الخلايا ومعروفة في مجملها بالإنزيمات ectoATPases (أي الإنزيمات الموجودة على سطح الخلايا والتي تفتت وتحلل الجزيء ATP)، وهي تقوم بنزع وتجريد الجزيء من جزيئات الفوسفات، الواحد تلو الآخر، محولة بذلك الجزيء ATP إلى الجزيء ADP ومن ثم إلى الجزيء AMP، وأخيرا إلى أدينوزين فقط. وقد يكون لكل من هذه النواتج تأثيره الخاص في إحدى الخلايا، مثل ما يحدث عندما يتحد الأدينوزين بالمستقبلات المعروفة بالاسم P1.

وعلى سبيل المثال، فقد بين <F. كاتو> [من كلية الطب بجامعة جيكي في طوكيو] أن الجزيء ATP يعمل بتناسق دقيق مع الأدينوزين في الشبكة الموجودة في جذع المخ والمسؤولة عن تنظيم وظائف الجسم الحيوية مثل التنفس وتنظيم ضربات القلب ووظائف المعدة والأمعاء. من ناحية أخرى، هناك حالات يتضاد فيها فعل الجزيء ATP مع فعل الأدينوزين، مثل ما يحدث أثناء انتقال الإشارة العصبية من عصب إلى آخر، حيث يستطيع الأدينوزين تثبيط ومنع إفراز الجزيء ATP في الفجوة المشبكية. بناء على ذلك، يمكن النظر إلى قيام الجزيء ATP

(*) EARLY ORIGIN

الأصل المبكر(*)

إن اكتشاف مستقبلات الجزيء ATP في النباتات وفي أشكال الحياة البدائية كالأميبات والديدان يوحي أن هذا الجزيء اضطلع بدور ناقل للإشارات في مرحلة مبكرة جدا في تطور الحياة. ففي **الفطر الغَرَوي** *Dictyostelium discoideum* (*انظر أدناه*)، تقوم مستقبلات الجزيء ATP المفعَّلة المشابهة لقنوات P2X البشرية، بالتحكم في انسياب الماء من وإلى داخل الخلايا.



ومكوناتــه، إضافة إلى الإنزيمات المســؤولة عن تفتيته والموجودة على السطح الخارجي للخلايا ، بأدوارها المتشابكة وكأنها منظومة حلقية ذاتية التنظيم لإرسال الإشارات.

تجــدر الإشــارة إلــى أن نــواتج تفتيت الجزيء ATP، ليست وحدها المؤثرة في عمله على الخلايا. ففي الجهاز العصبي مثلا، تقوم الخلايا العصبية بإفــراز الجزيء ATP ومعه غيره من ناقلات الإشارات، حيث تعمل سويا في تناغم دقيق، وهنا يجــوز اعتبار الجزيء ATP ناقلا مشــاركا. وقد ســاعد اكتشــاف هذه الظاهرة بواســطة <بيرنستوك> في عام 1976 على مراجعة النظرية التي رســخت لمدة طويلة حينذاك، والقائلة إن باستطاعة كل خلية عصبية واحدة أن تصنع وتختزن وتطلق نوعا واحدا فقط من نواقل الإشارة العصبية. وفي ضــوء البراهين المتعددة، فقــد تغيرت النظرة حاليا، حيث بات من المعروف أن الجزيء ATP يفرز بشكل عام مع غيره من نواقل الإشارات العصبيــة مثــل النورأدرينالين أو الأســيتيل كولين. ومع أن مســألة النواقل المشــتركة تم طرحها وإثباتها في بداية الأمر بالنســبة إلى الجــزيء ATP، إلا أن الظاهرة أصبحت الآن معروفة بالنســبة إلى عدد متنوع من الخلايا العصبيــة الأخرى، مثل إطلاق حمض **الگاما أمينــو بيوتيريك** (GABA)[1] مع الگلايســين glycine وكــذا الدوپامين مع **الســيروتونين** serotonin، والأســيتيل كولين بالمشــاركة مع أملاح حمــض الگلوتاميك. يتضح بذلك كيف قادت الأبحاث التي أجريت على دور الجزيء ATP فــي نقــل الإشــارات العصبيــة بهذا الطريق إلى الكشــف عن قواعد فســيولوجية أكثر عمومية، كما أســهم في تصميم وقيادة الأبحاث في مجالات أخرى.

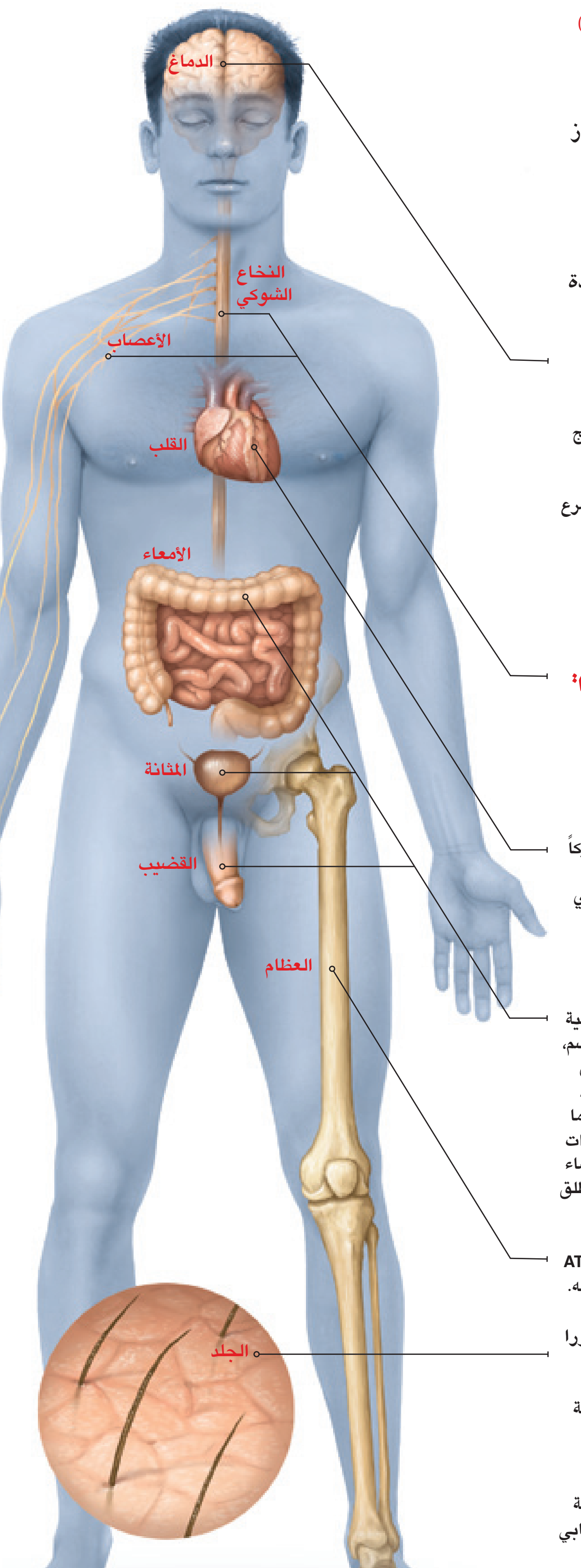
الجزيء ATP في الصحة والمرض(*)

لم يعد مســتغربا ، في ضوء المعرفة بدور الجــزيء ATP في نقل الإشــارات بين الخلايا العصبية للجهاز العصبي، أن يقوم أيضا بدور مهم في أداء الحواس الخمس لوظائفها. وعلى

(*) ATP in Health and Disease
(**) ANATOMY OF ATP
(1) Gama Amino Butyric Acid

تشريح الجزيء ATP(**)

يتدخل الجزيء ATP كناقل للإشارات العصبية، تدخلاً مباشراً في وظيفة الدماغ، والإدراك الحسي، وتحكم الجهاز العصبي في العضلات وفي الأعضاء. وحينما تفرزه الخلايا غير العصبية، فغالبا ما تنشط الاستجابات الوقائية كبناء العظام وتكاثر الخلايا. وفيما يلي بعض مناطق الجسم حيث تبذل الجهود لفهم أدوار الجزيء ATP المتعددة واستثمارها.



الدماغ: يقوم الجزيء ATP بتعديل وضبط التواصل بين الخلايا العصبية، وكذلك بينها وبين الخلايا الداعمة لها التي تُدعى «دبق» glia. تتدخل إشارات الجزيء ATP وأحد نواتج تفتيته، الأدينوزين، في النوم والذاكرة والتعلم والحركة وفي أنشطة أخرى للدماغ. وقد يكون لفرط إطلاق الإشارات دوره في حدوث داء الصَّرع وبعض الاضطرابات النفسية. يحفز الجزيء ATP أيضاً نمو الأنسجة وإصلاح الضرر بعد الإصابات والجروح ، ولكنه قد يعزّز موت الخلايا في أمراض ضمور الأعصاب وتحللها neurodegenerative diseases.

الأعضاء الحسيّة ومسارات الألم: ينظِّم الجزيء ATP، وينقل في بعض الحالات، المعلومات المتدفّقة من الأعضاء الحسية في العينين والأذنين والأنف واللسان إلى الدماغ. كذلك تستخدم أعصاب الإحساس بالألم هذا الجزيءَ لنقل الإشارات إلى النخاع الشوكي.

القلب: يقوي الجزيء ATP الذي يفرز مشاركاً للنورأدرينالين من أعصاب الجهاز العصبي اللاإرادي انقباضات عضلة القلب. والخلل الذي يمكن أن يصيب مسار هذه الإشارات يسبب اضطرابات في إيقاع وانتظام ضربات القلب وتغيرات في ضغط الدم.

أعضاء أخرى: تتأثر الانقباضات الطبيعية للأمعاء وكذا إفراز الإنزيمات أثناء عملية الهضم، تأثراً كبيراً بإشارات الجزيء ATP المنطلقة من الأعصاب المغذية للأمعاء. كما أن الجزيء ATP ينظِّم أيضاً انقباضات المثانة والتحكم فيها، كما أن انتصاب القضيب واسترخاءه يتطلب إشارات الجزيء ATP من الأعصاب إلى العضلات الملساء وإلى الخلايا المبطنة للأوعية الدموية، التي تُطلق بدورها أكسيد النيتريك المُرخي للعضلات.

العظام: ينبّه تنشيط مستقبلات الجزيء ATP الخلايا البانية للعظم ويكبح الخلايا الهادمة له.

الجلد: تؤدي مستقبلات الجزيء ATP دورا وسيطا في التجدد الطبيعي لخلايا الجلد، وفي التئام الجروح، وربما في اضطرابات التكاثر الخلوي مثل حالات أمراض الصدفية وتصلّب الجلد.

الجهاز المناعي: إن الجزيء ATP الذي تفرزه الأنسجة المصابة بأذى يثير خلايا المناعة فيحدث الالتهاب، وهو في حقيقته رد فعل إيجابي نحو الشفاء، وقد يتسبب أيضا في حدوث ألم؛ ولكن يراعى أن الالتهاب الشديد الذي يستمر فترة طويلة، يمكنه أن يؤذي الأنسجة، كما يحدث في داء المفاصل الروماتويدي. كما أن إشارات الجزيء ATP تساعد الخلايا المناعية على قتل الخلايا المصابة بالبكتيريا.

سبيل المثال، فإن مستقبلات الجزيء ATP الموجودة على الخلايا العصبية في **شبكية العين** retina، تؤثر في استجابة تلك الخلايا للإشارات الواردة إليها من الخلايا **العصوية والمخروطية** rods and cones التي تتعرف الضوء عند دخوله العين. حيث تقوم أعصاب الشبكية بدورها بإطلاق كل من الجزيء ATP والأسيتيل كولين كنواقل عصبية مشتركة، لنقل المعلومات إلى المراكز الحسية المسؤولة عن التعامل مع تلك الإشارات في الدماغ. وقد أظهرت فرق بحثية عديدة، أنه إضافة إلى هذه الوظيفة اليومية للجزيء ATP، فإن إشاراته العصبية، تؤدي دورا محوريا في مرحلة معينة مهمة أثناء تطور العين في المرحلة الجينية مما قد تمتد آثاره طوال الحياة. وفي الواقع، فقد أوضحت الأبحاث التي قام بها <N. ديل> وزملاؤه [من جامعة ووريك في إنكلترا] أن إفراز الجزيء ATP في مرحلة حرجة معينة أثناء بداية الحياة الجنينية، يمثل الإشارة اللازمة لتطور العين.

يعد إفراز الجزيء ATP ضروريا لسلامة نمو الجزء المعروف باسم **القوقعة** cochlea في الأذن الداخلية، وهو الجزء المسؤول عن السمع، وتستمر إشارات الجزيء ATP بالقيام بدور حاسم ومهم لوظيفة الأذن الداخلية عند البالغين. يلاحظ أن القوقعة في أذن الإنسان، مبطنة بنحو 50 000 من الخلايا ذوات الشعيرات، وهي الخلايا العصبية الناقلة لذبذبات الصوت في الأذن الداخلية. وتوجد مستقبلات الجزيء ATP على نحو النصف من تلك الخلايا، حيث يبدو أن الجزيء ATP ييسر انطلاق الإشارات العصبية منها في بعض الأحيان. إضافة إلى ذلك، فقد وجدت المستقبلات P2X على أطراف الخلايا العصبية المسؤولة عن التذوق في اللسان والمعروفة باسم براعم التذوق. وفي إحدى الدراسات الجيدة التخطيط، توصلت <C. S. كينامون> وزملاؤها [من جامعة ولاية كولورادو] إلى أن الجزيء ATP يؤدي دورا حيويا كناقل للإشارات من براعم التذوق إلى أعصاب التذوق، هذا وتنتفي القدرة على التذوق في الفئران المفتقرة إلى كل من النمطين الفرعيين من المستقبلات $P2X_2$ و $P2X_3$.

ومن المثير للدهشة أن المستقبلات $P2X_2$ و$P2X_3$ الموجودة على براعم التذوق، هي ذاتها المشاركة في نقل بعض أنواع الإشارات المسؤولة عن الإحساس بالألم. ومنذ عشرات السنين عرف العلماء أن حقن الجزيء ATP تحت الجلد يسبب الألم. وحديثا توصل <B. S. ماكماهون> وزملاؤه [من مجمع العلوم الطبية (كاي، كينگ، سانت توماس) في لندن] إلى أن الألم ينشأ نتيجة تنشيط النمط الفرعي $P2X_3$ من مستقبلات الجزيء ATP الواقعة على نهايات الأعصاب الحسية في الجلد، والمسؤولة عن نقل إشارات الإحساس باللمس والألم. وهناك نوع آخر من الألم يصاحب تلف الأعصاب ويعرف بالألم الناجم عن اعتلال الأعصاب،

[الأدوية]

استهداف مستقبلات الجزيء ATP(*)

إن تعرف أنماط المستقبلات الفرعية النوعية والمسؤولة عن تأثير إشارات الجزيء ATP في أنسجة مختلفة، قد أتاح لشركات الدواء البدء بتطوير أدوية لمعالجة عدد من الاضطرابات. وقد تمّ طرح اثنين من الأدوية المذكورة في الجدول أدناه في الأسواق، ولا تزال الأدوية الباقية قيد الدراسة.

الاضطراب	العقار	الآلية	مرحلة الاختبار
التليُّف الكيسي Cystic fibrosis	Denufosol	ينشط المستقبلات $P2Y_2$	المرحلة النهائية من اختبارات الفاعلية على البشر قيد الإجراء
جفاف العين	Diquafosol	ينشط المستقبلات $P2Y_2$	المرحلة النهائية من اختبارات الفاعلية على البشر قيد الإجراء
الالتهاب	EVT 401	يثبط المستقبلات $P2X_7$	اكتملت اختبارات السلامة على البشر
الألم	GSK1482160	يثبط المستقبلات $P2X_7$	اختبارات السلامة على البشر قيد الإجراء
	مركّبات لا اسم لها بعد (من Evotec AG)	تثبط المستقبلات $P2X_3$ و $P2X_{2/3}$	قيد الاختبار على الخلايا والحيوانات
التهاب المفاصل الروماتويدي	CE-224,535	يثبط المستقبلات $P2X_7$	اكتملت المرحلة النهائية من اختبارات الفاعلية على البشر
	AZD9056	يثبط المستقبلات $P2X_7$	اكتملت اختبارات السلامة على البشر
الخُثار (تجلُّط الدم غير التقليدي)	Clopidogrel	يثبط المستقبلات $P2Y_{12}$	تمت الموافقة عليه
	Prasugrel	يثبط المستقبلات $P2Y_{12}$	تمت الموافقة عليه
	PRT060128	يثبط المستقبلات $P2Y_{12}$	تجرى حاليا اختبارات السلامة والفاعلية على البشر
	Ticagrelor	يثبط المستقبلات $P2Y_{12}$	تجرى حاليا المرحلة النهائية من اختبارات الفاعلية على البشر

(*) TARGETING ATP RECEPTORS

ويسهم الجزيء ATP في حدوثه ولكن بوسيلة مختلفة. فقد أوضحت الدراسات الرشيقة التي أجراها <K. إينو> [من جامعة كيوشو في اليابان] و<M. سولتر> [من جامعة تورنتو] أن إحدى الخطوات الأساسية في تطور هذا النمط من الألم تتطلب تفعيل مستقبلات الجزيء ATP على الخلايا المناعية، غير العصبية الموجودة في النخاع الشوكي وتسمى **بالدبق الميكروي** microglia، وهي تفرز بدورها جزيئات أخرى تستثير بها الألياف العصبية المجاورة، مما يؤدي في النهاية إلى الألم المزمن [انظر: «متهمون جدد في *إحداث الآلام المزمنة*»، **العلوم**، *العددان* 4/3(2010)، ص 38].

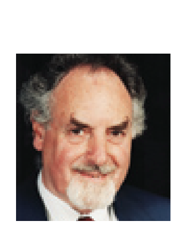
وبسبب تلك المعلومات عن نقل الإشارات بواسطة الجزيء ATP واحتمالاتها المستقبلية، تسعى كثير من شركات الأدوية الآن إلى دراسة وملاحقة المستقبلات P2X كأهداف لاستنباط أدوية جديدة لعلاج الألم الناجم عن اعتلال الأعصاب أو الآلام المصاحبة للالتهابات. ولا يشكل الألم إلا جانبا واحدا من جوانب صحة الإنسان التي يمكن أن تستفيد كثيرا في المستقبل القريب من أدوية موجهة نحو الجزيء ATP ومستقبلاته.

كذلك يقف مرضى القلب والأوعية الدموية في انتظار الاستفادة من أدوية المستقبل المؤثرة في مستقبلات الجزيء ATP. ويبدو السبب واضحا حين ننظر إلى سلسلة الأحداث التي تعقب الإصابة بأحد الجروح، فباستطاعة الخلايا المصابة أو التالفة عضويا، إفراز أو سكب ما بها من الجزيء ATP إلى المجال المحيط بالخلايا من الخارج. في تلك المواقف، غالبا ما تؤدي إشارات ورسائل الجزيء ATP إلى ردود فعل إيجابية نحو الوقاية أو الشفاء، بما في ذلك الدور الذي تؤديه الخلايا الصغيرة في الدم، المعروفة باسم الصفائح الدموية، وهي الخلايا المسؤولة عن تجلط الدم لوقف النزيف من أي جرح حديث. ذلك أن تلك الصفائح تحمل على سطحها مستقبلات تنتمي إلى المجموعة الفرعية $P2Y_{12}$ والتي تنشط باتحادها مع الجزيء ATP الذي يفد إليها من المجال المحيط بالخلايا، فيحدث فيها تغييرات معينة، مما يؤدي في النهاية إلى تكون الجلطات. ومن البديهي أن هذه التأثيرات نفسها تسهم في تكوين الجلطات داخل الأوعية الدموية، والتي يمكن أن تتسبب في الأزمات القلبية والسكتات الدماغية. ويتوفر حاليا أحد الأدوية الفعالة ويعرف باسم **الكلوپيدوگريل** clopidogrel ويعمل على غلق المستقبلات $P2Y_{12}$ على سطح الصفائح الدموية، ويمنع ذلك بدوره، حدوث الجلطات الناجمة عن تأثير الجزيء ATP. كما يتوفر الآن عدد لا بأس به من الأدوية التي تعمل بأسلوب مشابه لعلاج أمراض الشرايين التاجية بالقلب وهي تمر حاليا بمراحل متقدمة من اختبارها على المرضى تمهيدا لإقرارها وطرحها في الأسواق.

على صعيد آخر، أوضحت نتائج أبحاث <J. J. گاليگان> [من جامعة ولاية متشيگان] وغيره، أن الجزيء ATP المفرز من الأعصاب المغذية للأمعاء، ينشط المستقبلات P2X وP2Y وبذلك يتحكم في تناسق وإيقاع انقباض عضلات الأمعاء التي تدفع بالطعام قدما في رحلته عبر الأمعاء. كذلك، فإن اتحاد الجزيء ATP بمستقبلات P2Y المنتشرة على الخلايا المبطنة للجدار الداخلي للأمعاء، يتسبب في إفرازها للإنزيمات اللازمة للهضم. ولذلك، تتسابق شركات الأدوية حاليا لتتبع هذا الخيط من أجل التوصل إلى أدوية جديدة لعلاج مرض القولون العصبي، وكذا النوع الأشد منه قسوة، والمعروف باسم **مرض كرون** Crohn's disease.

إن الدور الذي يقوم به الجزيء ATP في أداء الأعضاء والأنسجة الأخرى لوظائفها الصحية السليمة، يجعله هدفا مأمولا به لعلاج قائمة طويلة من الاضطرابات، بما في ذلك بعض أمراض الكلى والعظام والمثانة والجلد وحتى بعض الأمراض العصبية والنفسية. إضافة إلى ذلك، فقد يكون الجزيء ATP أحد أسلحة الجسم الطبيعية لمقاومة السرطان. فقد كشف <E. راپاپورت> [من كلية الطب بجامعة بوسطون] لأول مرة في عام 1983، عن التأثير القاتل للجزيء ATP في الخلايا السرطانية. وقد قوبل أيضا بالاعتراض والتشكيك، غير أن نتائج الأبحاث التي أجرتها مراكز بحثية

المؤلفان



Baljit S. Khakh

Geoffrey Burnstock

خاخ *أستاذ مساعد في الفيسيولوجيا والبيولوجيا العصبية في كلية طب <D. گيفن> بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس. قام بتطوير وسائل مبتكرة، مثل تصميم مستقبلات الجزيء ATP التي يمكن مراقبتها بالضوء لاختبار كيفية إحساس الخلايا واستجابتها للجزيء ATP. أما* ***بيرنستوك*** *فكان أول من أظهر عمل الجزيء ATP كجزيء ناقل للإشارات، وقد شغل منصب رئيس قسم التشريح والبيولوجيا التطورية في الكلية الجامعية في لندن مدة 22 عاماً، وهو الآن رئيس مركز علوم الجهاز العصبي اللا إرادي في كلية طب جامعة رويال فري والكلية الجامعية في لندن. كما حصل على جوائز ودرجات شرف عديدة. التقى <بيرنستوك> و<خاخ> في مقهى بڤيينا عام 1994، حيث ناقشا موضوع الجزيء ATP، وهما يتناولان فطيرة تفاح.*

متعددة ومستقلة عن بعضها، أظهرت قدرة الجزيء ATP على كبح جماح نمو عدد من السرطانات مثل سرطان البروستاتة والثدي والقولون والمستقيم والمبيض والمريء وكذا خلايا أحد أنواع سرطان الجلد المعروف باسم **ميلانوما** melanoma. هذا وتعمل إشارات الجزيء ATP جزئيا من خلال تعزيزها قتل الخلايا السرطانية لذاتها (انتحارها)، وجزئيا من خلال دعم عملية تطور ونضوج الخلايا (**تمايز الخلية** cell differentiation) مما يبطئ تكاثر الخلايا السرطانية.

ومازال الأمر في حاجة إلى كثير من العمل لترجمة ما تم جمعه من معلومات حتى الآن حول مسألة إشارات الجزيء ATP، إلى أدوية جديدة قابلة للاستخدام البشري. وتجدر الإشارة إلى أن العمل يجري على قدم وساق في العديد من المختبرات وشركات الأدوية من أجل التوصل إلى أدوية يكون بمقدورها تنشيط أو تثبيط الأنماط الفرعية لمستقبلات الجزيء ATP بطريقة انتقائية، أو تثبيط أو تعزيز إفراز الجزيء ATP، أو منع تفتيته بعد إفرازه من الخلايا.

ناقل الإشارات المنشود(*)

إن اتساع دائرة قيام الجزيء ATP بنقل الإشارات والرسائل، يطرح تحديا واحدا كبيرا على الأقل، يتمثل بإيجاد أدوية تستهدف التأثير في عضو أو نسيج واحد فقط، من دون التسبب في آثار جانبية في أجهزة الجسم الأخرى. ولا يعد هذا الشاغل مقصورا على الجزيء ATP وحده، فمن شأن وجود أنماط متعددة من مستقبلاته على نماذج مختلفة من الخلايا أن يجعل احتمال استهداف أنسجة بعينها أكثر قابلية للتحقيق. أمضى <خاخ> زمنا يجرب فيه احتمال تصميم وصنع مستقبلات للجزيء ATP، يمكن إدماجها في الخلايا المستزرعة أو حتى في فئران التجارب الحية، ليسجل أثر إجراء أي تغيير طفيف في وظيفة البروتين المكون للمستقبلات P2X. وما هذا إلا إحدى الوسائل التي تتيح للباحثين إدخال تعديلات محسوبة ومحددة في إشارات الجزيء ATP ودراسة نتائجها في الكائنات الحية.

هذا، ويتمثل أحد أهم الإنجازات خلال العشرين عاما الماضية بما تحقق حديثا من تحديد التركيب البلوري لقناة P2X في جدران خلايا **سمكة الزرد** zebra fish بواسطة <E. گواكس> وزملائه من جامعة أوريگون للصحة والعلوم. يظهر هذا الإنجاز المحوري، تفاصيل أسلوب عمل مستقبلات الجزيء ATP على المستوى الذري، كما يمهد الطريق لفهم دقائق انتقال الإشارات بواسطة الجزيء ATP بداية من مستوى الجزيئات ونهاية بالأنظمة الفسيولوجية الشاملة . هذا إضافة إلى إسراعه المتوقع بشكل ملحوظ في عملية اكتشاف أدوية جديدة.

على صعيد آخر، فإن الأدلة الحديثة، تشير إلى وجود مستقبلات الجزيء ATP في بعض النباتات والكائنات البدائية مثل الطحالب الخضراء ومختلف أنواع الأميبا وغيرها من الطفيليات. وهو ما يفتح الباب أمام احتمال التدخل مع إشارات الجزيء ATP بطرق نافعة في الزراعة وفي علاج بعض الأمراض المعدية. كذلك، فإن وجود إشارات الجزيء ATP على هذا النمط الواسع في مختلف أشكال الحياة، يوحي أن وظيفة الجزيء ATP كناقل للإشارات، ظهرت مبكرا في مسيرة تطور الحياة، وربما بالتزامن مع الاعتماد عليه كمصدر للطاقة. كذلك تشير التقارير الكثيرة عن قوة تأثير الجزيء ATP ومشتقاته في معظم الحيوانات اللافقارية أو الحيوانات الفقارية الدنيا، إلى أن تأثير الجزيء ATP قد يكون واسع الانتشار بالفعل.

ويسعدنا اليوم أن نرى كيف سارت مسألة دور الجزيء ATP كناقل للإشارات، ونمت من كونها مجرد فكرة مشكوك فيها ومنبوذة منذ خمسين عاما مضت، وكيف تطورت حتى صارت مجالا نابضا بالحياة، ومثيرا لجميع المتصلين بعالم الأحياء اليوم، وله احتمالاته المستقبلية المهمة في عالم الطب. وإننا لنتطلع بشوق إلى أن نرى المزيد من الاكتشافات على طريق فهم الدور الحيوي المزدوج للجزيء ATP واستغلاله لتحسين نوعية حياة الإنسان. ■

(*) The Ultimate Messenger

مراجع للاستزادة

Molecular Physiology of P2X Receptors and ATP Signalling at Synapses. Baljit S. Khakh in *Nature Reviews Neuroscience,* Vol. 2, pages 165–174; March 2001.

Pathophysiology and Therapeutic Potential of Purinergic Signaling. Geoffrey Burnstock in *Pharmacological Reviews,* Vol. 58, No. 1, pages 58–86; March 2006.

P2X Receptors as Cell-Surface ATP Sensors in Health and Disease. Baljit S. Khakh and R. Alan North in *Nature,* Vol. 442, pages 527–532; August 3, 2006.

Physiology and Pathophysiology of Purinergic Neurotransmission. Geoffrey Burnstock in *Physiological Reviews,* Vol. 87, No. 2, pages 659–797; April 2007.

***Scientific American,* December 2009**

فَنّ الحرب البكتيريّ(*)

تظهر الدراسات الحديثة، كيف تستغل البكتيريا خلايا جسمنا وتتمكن من التفوق على نظامنا المناعي، وكيف يمكننا استخدام أسلحتها ضدها.

<B .B. فينالاي>

مفاهيم مفتاحية

- تتكاثر المُمْرِضات البكتيرية وتفرز داخل المضيِّف البشري، ولكننا لم نفهم بعد بشكل واف كيف تراوغ البكتيريا دفاعاتنا وتصيبنا بسمومها.
- أظهرت دراسة التفاعلات مضيف - مُمْرض استراتيجيات معقدة تتبعها البكتيريا لتستغل خلايا المضيف وتتلاعب بها بما يخدم احتياجاتها.
- يتيح الفهم الجديد لطرائق البكتيريا وأدواتها الوصول إلى مقاربات جديدة لمحاربتها.

محررو ساينتفيك أمريكان

إن أغلب البكتيريا رفاق طيبون لنا. فعلا، عندما تشعر بالوحدة تذكر بأن تريليونات الميكروبات التي تعيش داخل وعلى سطح الجسم البشري في الحالة الطبيعية، تفوق عدد الخلايا البشرية بعشر مرات. ومن بين عشرات آلاف الأنواع البكتيرية المعروفة، تخرق مئة منها فقط قواعد التعايش السلمي مسببة لنا الأمراض.

ويمكن لهذه **المُمْرِضات** pathogens أن تسبب الكثير من المشكلات. فالأمراض الخمجية (المُعْدِية) تأتي في المرتبة الثانية من بين الأسباب المؤدية إلى الموت في العالم. والبكتيريا من أهم العوامل المميتة. فالسل وَحْدَهُ يسبب مليوني حالة وفاة سنويا، وقد حصدت ***اليرسينية الطاعونية***[1] وهي التي تسبب الداء الشنيع **الطاعون الدبلي**[2] في القرن الرابع عشر، ما يقارب ثلث عدد سكان أوروبا. لقد حقق الباحثون تقدما ملحوظا خلال القرن الماضي في السيطرة على بعض الأنواع البكتيرية من خلال المضادات الحيوية، ولكن البكتيريا المؤذية وجدت سبلا لمقاومة العديد من هذه الأدوية. إنه سباق تسلح تأخر فيه الإنسان، وأسهم في ذلك أننا لم نفهم عدونا بشكل جيد.

تاريخيا، سعى متخصصو البيولوجيا الميكروية إلى معرفة كيف تسبب البكتيريا المرض، وذلك من خلال زرعها في أوساط مغذية، ثم عزل الجزيئات من المحيط الخارجي **للبق** bugs، أو استخلاص إفرازاتها من الوسط، ودراسة تأثير هذه المواد في الخلايا البشرية أو في الحيوانات. لقد أسهمت هذه الدراسات في تحديد خصائص الذيفانات البكتيرية المتنوعة. ولكن معظم الدراسات التي استهدفت الآليات الإمراضية، أهملت التفاعل بين المُمْرِضات البكتيرية ومضيفيها. وعلى مدى العشرين سنة الماضية تنامت الأبحاث التي تبين أن البكتيريا المُمْرضة غالبا ما تبدي سلوكا يختلف في الأوساط المغذية، عنه داخل جسم المضيف.

وقد تطورت البكتيريا لتصبح **مُدَمِّرات** subversives متمرسة، وذلك لتتمكن من اختراق الأعضاء والأنسجة المتنوعة، ومن **البقيا**[3] والنمو في أجسامنا، حيث تعمل على استغلال الخلايا وأنظمة الاتصال الخلوية، وإجبارها على تعديل سلوكها بما يتوافق مع غاياتها. ينجح العديد من البكتيريا في السيطرة، من خلال استخدام أدوات متخصصة بحقن بروتينات تقوم بإعادة برمجة الآليات الخلوية لتنفذ أوامرها. كما تستخدم بعض البكتيريا خططا وتكتيكات لتخليص الجسم من **البكتيريا الحَميدة** benign bacteria أو المفيدة، مما يساعدها على السيطرة على البيئة المحيطة. وعندما تمكن الباحثون من تحديد الاستراتيجيات

(*) THE ART OF BACTERIAL WARFARE
(1) *Yersinia pestis*
(2) bubonic plague
(3) Survival



العدائية، والأسلحة البارعة التي تستخدمها البكتيريا الممرضة في غزو مضيفها والتغلب عليه، بدأنا فورا بالعمل على استنباط علاجات توجه هذه الأسلحة إلى الميكروبات نفسها.

اقتحام ودخول(*)

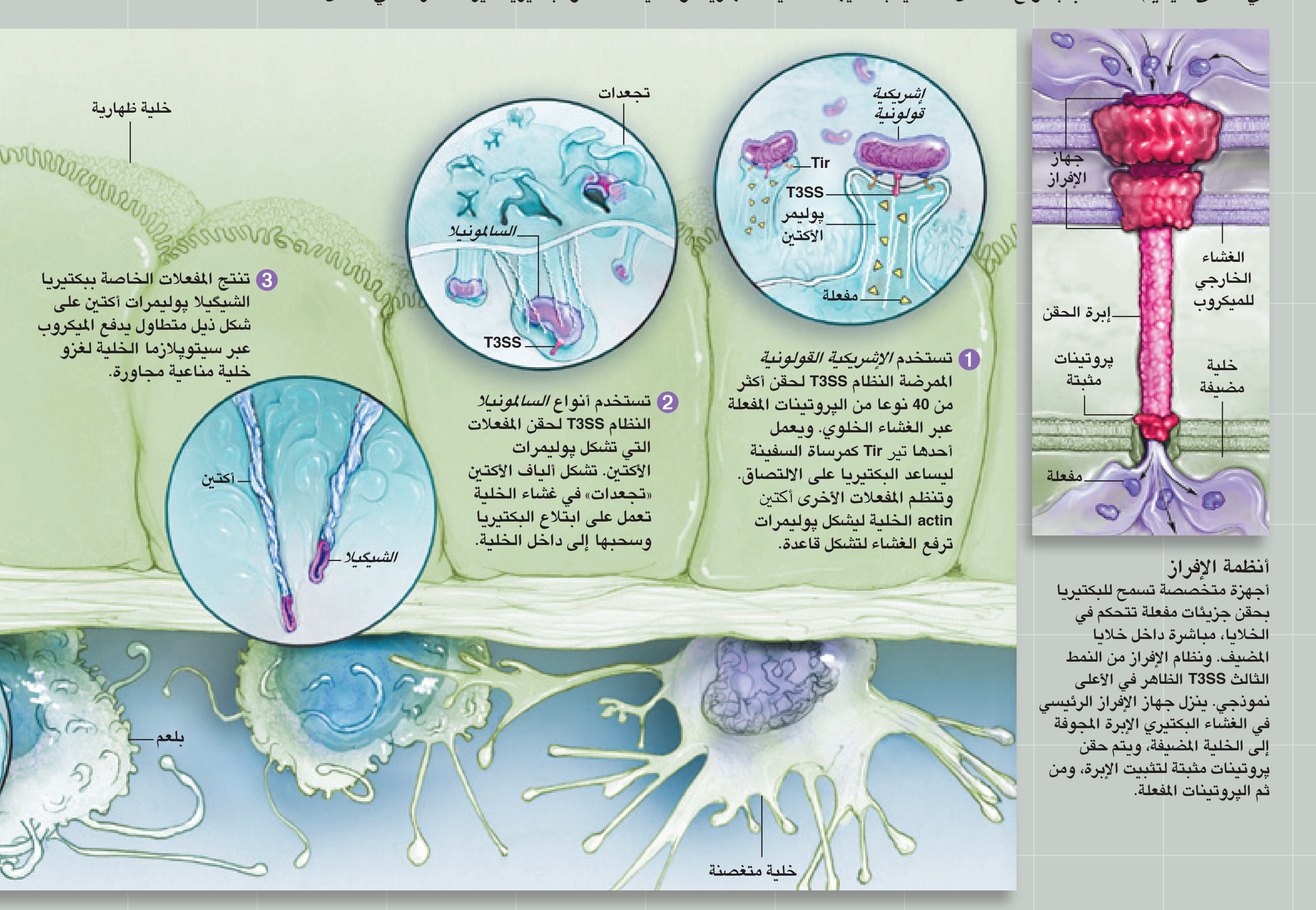
تنتج بعض أعراض الأخماج البكتيرية مباشرة من استراتيجيات البكتيريا للبقاء حية. فالذيفانات التي تنتجها البكتيريا هي أحد الأسباب العديدة المسببة للأمراض. وبما أن المُمْرِضات تسبب مجموعات متشابهة من الأعراض – الإسهال، الحمى، وغيرها – بدا من المنطقي الاعتقاد أنها تسبب الأمراض بآليات متشابهة أيضا. ومع أن العديد من الممرضات تعتمد على العناصر الأساسية نفسها من الآليات الخلوية – كبروتينات معينة تسهم في بناء الجدار الخلوي – إلا أنها تستخدم أساليب متنوعة ومعقدة للهجوم.

إن الخطوة الأولى في أي هجوم بكتيري، على سبيل المثال، هي الالتصاق

(*) Breaking and Entering

كيف تتمكن البكتيريا من استغلال خلايا المضيف(*)

تحسن البكتيريا المسببة للمرض من فرص بقائها، من خلال الاستيلاء على آليات واتصالات خلايا المضيف لتنفيذ أوامر البكتيريا، وذلك من خلال تعديل الوسط داخل وخارج خلايا المضيف لتلائم حاجاتها. وفي المثال بالأسفل تستخدم البكتيريا الغازية للأمعاء أدوات متخصصة (*الصورة في أقصى اليمين*)، لتتلاعب بأنواع عدة من الخلايا بما فيها الخلايا الظهارية، وخلايا المناعة والبكتيريا غير الضارة التي تسكن الأمعاء.



أنظمة الإفراز
أجهزة متخصصة تسمح للبكتيريا بحقن جزيئات مفعلة تتحكم في الخلايا، مباشرة داخل خلايا المضيف. ونظام الإفراز من النمط الثالث T3SS الظاهر في الأعلى نموذجي. ينزل جهاز الإفراز الرئيسي في الغشاء البكتيري الإبرة المجوفة إلى الخلية المضيفة، ويتم حقن بروتينات مثبتة لتثبيت الإبرة، ومن ثم البروتينات المفعلة.

بخلايا المضيف. وتمتلك إحدى سلالات ***الإشريكية القولونية*** *Escherichia coli* والمعروفة **بالمدمية المعوية**[1] O157، طريقة جديرة بالملاحظة في إلصاق نفسها بخلايا المضيف. وتنتقل هذه المُمْرِضات عبر الطعام الملوث، وعندما تصل السبيل المعدي المعوي، تلتصق المدمية O157 بجدار الأمعاء وتنتج ذيفانا يسبب إسهالا دمويا. وقد اعتقد العلماء سابقا أن هذه السلالة المرضة من *الإشريكية القولونية*، تتثبت على جزيء مستقبل موجود مسبقا في خلايا المضيف المعوية، كجميع **المرضات الملتصقة** adherent pathogens. ولكن الدراسات الحديثة أظهرت أن المدمية O157 تقوم بصنع المُسْتَقْبِل الخاص بها، وتحقنه في الخلية من خلال ما يُعرف **بالنظام الإفرازي من النمط الثالث**[2] T3SS (يسمى نظام الإفراز حسب ترتيب اكتشافه).

يقوم النظام البكتيري T3SS بحقن جزيء يدعى **تير** Tir، مع 40 أو أكثر من جزيئات البروتين «**المفعِّلة**» effector، مباشرة في الغشاء الخلوي للخلية المضيفة، ثم يثبت

(*) How Bacteria Hijack Host Cells
(1) enterohemorrhagic
(2) Type 3 Secretion System

حين تقوم المفعِّلات والذيفانات التي حقنتها في الخليــة «بعملهــا القــذر». إن الوظيفة الأكيدة لهــذه القواعد غيــر معروفة، ولكن الباحثــين بينــوا أن لها دورا أساســيا في القدرة الإمراضية لهذه البكتيريا.

من المُرضات الأخرى، *الملوية البوابية* *Helicobacter Pylori*، والتــي تلصق نفســها بالخلايــا الظهارية المبطنــة للمعدة، ومن ثم تبدأ بتعديل الوسط المحيط بما يلائم بقياها. تفرز *الملويات البوابية* إنزيما يسمى **اليورياز** urease الذي يعاكس موضعيا الوسط المعدي العالي الحموضة، والذي يقتل في العادة أغلب البكتيريا. ليســت جميع السلالات ممرضة، ولكن المُمْرِض منها قد يسبب قُرحا معدية أو حتى ســرطان المعدة، مما يجعلها البكتيريا الوحيدة المعروفة التي تسبب السرطان. تنتج السلالات الممرضة **نظاما إفرازيا من النمط الرابــع** (T4SS)[1] يقوم بحقــن بروتين مفعل خــاص يدعى CagA. إن وظيفة هذا البروتين الدقيقة غير معروفة، ولكن الدراسات الحديثة تشــير إلى أنه يحمل الخلايا الظهارية على إنتاج عدد أكبر من المُســتَقْبِلات التي تتثبت عليهــا *الملويــات البوابية*. كمــا يمكن لهذا البروتين أن يؤثر بشكل مباشر في الإشارات داخــل الخلوية فــي خلايا المعدة، مســببا تطاولها وتبعثرها، وفــي النهاية تموتها مما يسهم في تشكيل القرحة.

لا تحتــاج *الإشــريكية القولونية* O157، و*الملوية البوابية* الدخول إلى الخلية لتســبب المرض، علــى عكــس ***السالمونيلا***[2] التي تخترق جدار الخلية: وهي بكتيريا قريبة من *الإشريكية* تسبب الإســهال لما يقارب بليون إنســان حول العالم. فــي الحقيقة، تحتاج *الســالمونيلا* إلى المرور إلــى داخل الخلايا الظهارية التي تبطن الأمعاء، وذلك لتتمكن من **التفــوع (النمــو)** thrive. تبدأ هذه البكتيريا الغزو باســتخدام نمط مختلــف من النظام البكتيري T3SS يعرف **بالجزيرة الإمراضية**

[1] Type 4 Secretion System

[2] *salmonella*



4 *الرودنتية الليمونية* - وهي نوع من *الإشريكية القولونية* يصيب الفئران - تستخدم مفعلات بروتينية لتغيير الإشارات الخلوية مسببة التهابا موضعيا يقتل بعض أنواع البكتيريا غير المؤذية التي تعيش في الأمعاء والتي تنافسها على موارد الغذاء.

5 تستخدم *الفيلقية المستروحة* النظام T4SS[1] عندما تبلعها وتحتجزها إحدى البلاعم داخل الفجوة. وتغير المفعلات غشاء الفجوة بحيث لا تستطيع جسيمات الحالة القاتلة للممرضات الوصول إلى الداخل، فتستطيع *الفيلقة* أن تتكاثر بأمان قبل أن تغزو خلية أخرى.

أحد جزيئاته الســطحية على «التير». ولكن هذه هي الخطوة الأولى فقط في الاســتيلاء علــى الخلية. ويقوم الجزيء Tir مع عدد من الجزيئات البروتينية المفعلة الأخرى التي تم حقنها في الخلية، بإجبــار الجدار الخلوي على التصرف بشــكل غيــر طبيعي. يتفاعل **الأكتــين** actin، وهو أحد العناصر الأساسية الداخلة فــي الهيكل الخلوي، مع البروتينات البكتيريــة، مشــكلا **بوليمــرات** polymers تبدأ بالضغط على الجدار الخلوي مشــكلة نتوءا على شــكل قاعدة التمثال، ترتكز عليه *الإشريكية القولونية* بأمان خارج الخلية، في

الميكروبايولوجيا البشرية

تركيب جسم الإنسان

10 تريليونات
خلية بشرية

100 تريليون
خلية بشرية

الأنواع البكتيرية التي تعيش في الإنسان ...

5000 - 35 000
... الأمعاء

300 - 500
... الفم

120
... الجلد

الأنواع البكتيرية المرضة للإنسان

100

نسبة الأشخاص الذين تستعمرهم البكتيريا المُمرِضة (مع أو من دون مرض)

33%
المفطورة السلية

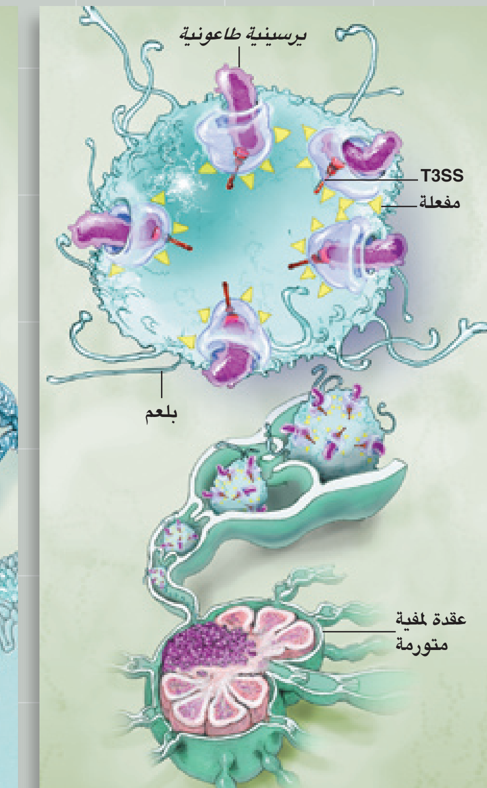
50%
الملوية البوابية

50%
العنقودية المذهبة

[تجنب المناعة]

خداع الحراس(*)

يُفترض بالخلايا المناعية والأجسام المضادة التي تنتجها أن تعملا معا على تحييد الغزاة، ولكن البكتيريا الممرضة تستطيع تجنب دفاعات المضيف تلك وذلك بآليات وتكتيكات مختلفة، كالتي وصفت في الأمثلة المعروضة أدناه.





سالمونيلا أنتريكية
فلاكيلين (بروتين يوجد في السوائط)
شلال الإشارة
نواة
خلية محتضرة

آلية التعطيل

عندما يحاول بلعم **macrophage** ابتلاع *اليرسينية الطاعونية*، تستخدم البكتيريا نظامها **T3SS** لحقن مفعلات تقوم بشل آلية الابتلاع لدى الخلية المناعية. وتمتطي *اليرسينية* الخلية إلى العقدة اللمفاوية حيث تتكاثر مسببة تورم العقد ومشكلة الدبل المميزة للطاعون الدبلي.

تدمير الأجسام المضادة

تمنع الگلوبولينات المناعية من النمط **(IgA)**[١] البكتيريا من الالتصاق بالخلايا الظهارية التي تبطن المجرى الأنفي والأسطح المخاطية المماثلة في الجسم. إلا أن *النيسيريا السحائية*[٢]، إحدى مسببات التهاب السحايا، تستطيع استعمار هذه الخلايا بإفراز إنزيم پروتياز يدمر الأجسام المضادة.

قدح التدمير الذاتي

تقوم خلايا مناعية محددة كالبلاعم بتدريب الخلايا المناعية الأخرى على تعرف الممرضات. ولكن *السالمونيلا الأنتريكية* ***salmonella enterica*** تستطيع منع حدوث ذلك، حيث تستخدم نظامها **T3SS** لحقن الخلية بالفلاگيلين **flagellin**، وهو پروتين يطلق شلال إشارات يؤدي في النهاية إلى تفعيل آلية انتحار خلوية.

الخاصة *بالسالمونيلا*[٣] (SPI-1) حيث تحقن الخلايا الظهارية بمفعلات تعيد تنظيم بلمرة (تماثر) الأكتين لتشكل «تغضنات» في الغشاء الخلوي شبيهة بقواعد التمثال التي تشكلها *الإشريكية القولونية*، تمتد هذه التغضنات وتلتف حول البكتيريا الملتصقة بغشاء الخلية من الخارج، وتجبر الخلية فعليا على سحب الميكروب إلى الداخل. ينتج الإسهال المرافق لهذه الأخماج من الجزيئات التي تم حقنها بالجزيرة الإمراضية SPI-1. ولكن *السالمونيلا* لا تتوقف عند هذا الحد.

تقوم **البلاعم** macrophages الكبيرة والخلايا الأخرى التي تنتمي إلى ما يدعى بالسلاح الأولي للجهاز المناعي، كالمعتدلات **والخلايا المتغصنة**[٤]، عادة بهضم وتدمير (بلعم) أي جسم غازي. وتبتلع هذه البلاعم البكتيريا وتحتجزها في فجوات مرتبطة بغشائها، حيث تقوم الجزيئات القاتلة بتدمير الضحية. ولكن أنواع *السالمونيلا* تخترق البطانة المعوية مارة عبر الخلايا الظهارية إلى الخلايا المناعية التي تنتظر على الجانب الآخر. حالما تصبح البكتيريا في فجوات البلاعم، تقوم باستخدام نوع ثان من النظام

(*) Outwitting the Guards
(١) immunoglobulin A
(٢) *Neisseria meningitidis*
(٣) *Salmonella* pathogenicity island 1
(٤) dendritic cells؛ أحد أشكال الكريات البيض. (التحرير)

البكتيري T3SS يُسمى SPI-2 وهو يحرر بروتينات مفعلة تحول هذه الفجوات إلى ملاذ آمن تستطيع *السّالمونيلا* التكاثر فيه. تقوم هذه البروتينات بتحويل «غرفة الإعدام» إلى ملجأ آمن من خلال تعديل غشاء الفجوات بحيث تصبح الجزيئات القاتلة عاجزة عن الدخول إليها.

إن النظام SPI-2 ضروري لنجاح ***السالمونيلا التيفية*** *Salmonella typhi*، السلالة التي تسبب حمى التيفوئيد. فمن خلال تمكين البكتيريا من البقاء داخل الخلايا البلعمية، والتي تنتقل ضمن الجسم عبر المجرى الدموي والجهاز اللمفي، يسمح النظام SPI-2 لهذه المتعضيات بالوصول والتكاثر في أنسجة أبعد بكثير من الأمعاء، كالكبد والطحال.

إن القدرة على البقاء داخل خلايا المضيف، هي ميزة مشتركة بين العديد من الممرضات التي تسبب أمراضا خطيرة، كالسل **وداء الفيلقيات** Legionnaires' disease. تتميز **الفيلقية المستروحة** *Legionella pneumophila* بأنها تحقن 80 نوعا مختلفا من المفعلات في الخلايا البلعمية من خلال النظام T4SS الخاص بها. ومع أن وظيفة القليل منها معروفة، إلاّ أن العديد منها يعمل على تحويل الفجوات البلعمية إلى ملاذ آمن.

يقدم لنا سلوك *الفيلقيات* نافذة تطلعنا على الأصل المحتمل لأجهزة الإفراز البكتيرية، التي لم تتطور لتسبب المرض للإنسان، وإنما لتحمي البكتيريا من هجوم المتعضيات الوحيدة الخلية في التربة. وتَستخدم *الفيلقيات* النظام T4SS لتستطيع النجاة عندما تبتلعها **أميبات**(1) التربة التي تمتلك آليات مشابهة للخلايا البلعمية عند الإنسان. وهذا الترابط بالأميبات أعطى هذه البكتيريا اسمها. وفي لقاء عسكري في أمريكا عام 1967 عَبَرت بعض الأميبات الحاوية على *فيلقيات* بكتيرية قنوات نظام التهوية ووصلت إلى رئات المجتمعين. وكما تفعل الأميبات، فإن البلاعم في **الأسناخ الرئوية**(2) البشرية ابتلعت *الفيلقيات*. وقد أدى الداء التنفسي الناتج إلى وفاة 34 شخصا، وبذلك تم اكتشاف داء الفيلقيات.

مراوغة الحراس(*)

إن قدرة البكتيريا على تهيئة الظروف المحيطة داخل الخلايا المناعية - التي من المفترض أن تقوم بقتل تلك البكتيريا - تبرهن على قدرة الأجهزة البكتيرية على الاستيلاء على الآليات الخلوية. وإن التشابه بين الخلايا المناعية البشرية والمتعضيات المفترسة لهذه البكتيريا خارج المضيف البشري، يفسر استراتيجيات البقيا لديها. ومن أكثر هذه الآليات التي تستخدمها البكتيريا تعقيدا، هي تلك المخصصة لتجنب دفاعات المضيف، أو لتجنيد الخلايا المناعية لتساعد على فوعتها.

وعلى سبيل المثال، تنتقل *اليرسينيا الطاعونية* من الجرذان إلى الإنسان، عن طريق عضّات (قَرصات) البراغيث التي تُدخل الميكروب مباشرة إلى الدم. عندما تحاول البلاعم الجائلة في الدم أن تبتلع وتقتل الممرضات، يقوم النظام T3SS الخاص *باليرسينيا* بحقن مجموعة من أربع مفعِّلات على الأقل تعمل على شل الآلية البلعمية تماما قبل أن تتمكن البلاعم من ابتلاع فريستها. ترتشح البلاعم حاملة *اليرسينيا* على سطحها، إلى العقد اللمفاوية، حيث تبدأ البكتيريا بالتضاعف مسببة التورمات المؤلمة أو الدبل التي تعطي الطاعون الدبلي اسمه.

لقد طورت العديد من الممرضات أنظمة حقن/إفراز قادرة على إعادة برمجة الإشارات الخلوية والاستجابات المناعية

(*) Dodging the Sentries
(1) amoebas
(2) the humans' alveoli

لقد تطورت أنظمة الإفراز، لا لتتسبب في مرض البشر وإنما لتحمي الحشرات من مهاجمتها من قبل متعضيات وحيدة organisms الخلية في التربة.

تطورت العديد من الممرضات ابتداء من بكتيريا غير مؤذية وذلك من خلال اكتساب جينات (مورثات) genes تنقل خصائص جديدة.

بشكل نوعي. تعطي *الشيگيلا الزحارية*[١]، العامل **المسبب للزحار**[٢]، مثالا على مجموعة من الاستراتيجيات التي يمكن لنوع بكتيري واحد استخدامها خلال الخمج. ومع أن *الشيگيلا* تشبه إلى حد كبير من الناحية الجينية سلالات غير مؤذية من *الإشريكية القولونية*، إلا أنها تمتلك النظام T3SS الذي يقوم بحقن 25 إلى 30 مفعلة تدفع خلايا المضيف إلى احتواء البكتيريا، بطريقة تشابه تلك التي تسحب بها *السالمونيلا*. ومن ثم، تقوم *الشيگيلا* باستغلال الآلية الهيكلية للخلية لتنتقل عبر الخلية وتخترق الخلايا المجاورة، متجنبة بذلك الخلايا المناعية وجزيئات الأجسام المضادة التي قد تكون بانتظارها خارج الخلايا.

لم يتم اكتشاف وسائل *الشيگيلا* الأخرى في المراوغة وإعادة البرمجة، ولكن من المعروف أن العديد من المفعلات تتآثر مباشرة مع أنظمة الإشارة الخلوية الداخلية في الخلايا المضيفة مسببة تحييد بعض نداءات الاستغاثة التي ترسلها الخلية المخموجة في الحالة الطبيعية، ومع ذلك، لا يتم إسكات جميع الإشارات الخلوية. ويعتمد الميكروب على جزء من الإشارات الخلوية لاجتذاب الخلايا المتغصنة إلى موقع الخمج، ليقوم بعدها باختراق هذه البلاعم، واستخدامها «كأحصنة طروادة» لتحملها عبر جدار الأمعاء مما يؤدي إلى تمزقه مسببة الإسهال الحاد المميز للزحار.

ولا يقتصر خداع البكتيريا على الجهاز المناعي الأولي (اللانوعي)، حيث تعلّم بعضها تجنب الاستجابة المناعية المكتسبة، والتي تتألف من **الخلايا التائية** T cells و**الخلايا البائية** B cells المنتجة للأجسام المضادة والتي دربتها الخلايا المناعية الأولية (اللانوعية) لتتعرف ممرضاتٍ نوعيةً من خلال الخصائص السطحية (المستضدات) لهذه الممرضات. يمكن للميكروبات تفادي هذه الدفاعات، إما من خلال التغيير المستمر لبروتيناتها السطحية لتتجنب الأجسام المضادة، أو من خلال إفراز إنزيمات تحطم هذه الأجسام المضادة. و*الشيگيلا* واحدة من مُمْرِضات عدة قادرة على منع تكوين الأجسام المضادة، من خلال منع الخلايا البلعمية، من إيصال المستضدات إلى خلايا جهاز المناعة المكتسبة. و*السالمونيلا* أيضا قادرة على **قدح** trigger شلال إشارات داخلي، يحمل الخلايا البلعمية على الانتحار قبل أن تتمكن من التواصل مع خلايا الجهاز المناعي المكتسب.

مجتمع تنافسي(*)

تحتاج المُمْرِضات إلى أكثر من التلاعب بالإشارات الخلوية والتغلب على الدفاعات المناعية، لتتمكن من النمو داخل الجسم. فعليها أيضا التفوق على حشود البكتيريا غير المؤذية التي تم تجاهلها حتى وقت قريب، من قبل أغلب علماء البيولوجيا الميكروية والمناعة. وتحتوي جميع سطوح الجسم المفتوحة على البيئة الخارجية، بما في ذلك بطانة السبيل المعدي المعوي، على أعداد هائلة من هذه البكتيريا **المتعايشة** commensal. فعلى سبيل المثال، يحتوي كل غرام من المحتوى المعوي الهائل تقريبا على 60 بليونا من البكتيريا، أي ما يساوي عشرة أضعاف تعداد سكان الأرض.

وأحد أسهل الطرق لإلغاء المنافسة هو التسبب في الإسهال، ومن ثمّ طرد المنافسين خارج الجسم، بشكل مؤقت على الأقل. وقد بينتُ مع زملائي أن سلالة *الإشريكية القولونية*، والتي تصيب الفئران ***الليمونية الرودنتية*** *Citrobacter rodentium*، تقوم بتحريض متعمد لالتهاب الأمعاء، حيث يؤدي اندفاق خلايا المناعة الأولية إلى القضاء على مجموعة معينة من **ميكروبات النبيت المعوي** الطبيعية gut microbiota. وبعد التخلص

(*) A Competitive Community
(١) Shigella dysenteriae
(٢) dysentery

استهداف أسلحة البكتيريا(*)

من خلال فهم أعمق لوسائل البكتيريا في تدمير خلايا المضيف ودفاعاته، يطور العلماء العديد من المقاربات المتنوعة لصد هجمات البكتيريا، بعض من الأمثلة في الأسفل ما زالت في المرحلة الأولى أو الثانية من الاختبارات على الإنسان، ولكن أغلبها مازال في الطور ما قبل السريري.

الهدف	المادة (كيف تعمل)	المرحلة الاختبارية
الالتصاق بخلايا المضيف	**كلوبولين مناعي** (يمنع وظيفة بروتينات الالتصاق البكتيرية)	المرحلة الثانية*
	البوليمرات (المتماثرات) المتغصنة السكرية (تعمل كأفخاخ لبروتينات الالتصاق البكتيرية)	ما قبل السريري
	البيليسايد (يعيق تصنيع بروتينات الالتصاق)	ما قبل السريري
الأنظمة T3SS	**حمض هيدرازايد الساليسليدين** (يحصر النظام الإفرازي بكامله)	ما قبل السريري
جينات (مورثات) الفوعة	**ڤيرستاتين** (يعيق اصطناع جزيئات الذيفانات والالتصاق)	ما قبل السريري
	الپپتيدات المثبطة الذاتية التولد (تعيق اصطناع جزيئات التواصل)	ما قبل السريري
الاتصالات	**أزيترومايسين** (يتداخل على مستويات عدة في التواصل بين البكتيريا)	ما قبل السريري*
خلايا المضيف المناعية	**IMX942** (يغير الاتصالات والتفاعل الالتهابي)	المرحلة الأولى (كندا)
	بوتيرات الصوديوم (تحفز تصنيع الپپتيدات المضادة للبكتيريا)	المرحلة الثانية

** موافق عليه من قبل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية لاستخدامات أخرى.*

من منافسيها، تستطيع الممرضات التكاثر بسرعة، وتدوم سيطرتها إلى أن يتم تفعيل جهاز المناعة المكتسبة. وفي النهاية، تقوم الخلايا المناعية بالتخلص من الممرضات؛ ليعود بعدها النبيت الطبيعي إلى إشغال الأمعاء مستعيدا تركيبه وتعداده السابق.

بشكل مشابه، تتبنى سلالة *السالمونيلا* التي تصيب الفئران، سلوكا يتلاءم مع تركيب النبيت المعوي المضيف. وتسبب هذه البكتيريا عادة عند الفئران داء جهازيا مشابها للتيفوئيد؛ ولكن في حال التعديل المسبق للنبيت بواسطة جرعات عالية من المضادات الحيوية، تقتصر الإصابة على السبيل المعدي المعوي. فالمنافسة من قبل البكتيريا القاطنة في الأمعاء، تدفع *السالمونيلا* إلى غزو الجسم مسببة مرضا **جهازيا**[1] systemic. ولكن عند تعديل النبيت المقيم تفضل *السالمونيلا*، البقاء في السبيل المعدي المعوي.

يوفر التفاعل بين الميكروبات، الحميدة والمُمْرِضة داخل جسم المضيف، فرصة لتبادل الأسلحة. في الحقيقة، تطور العديد من البكتيريا الحميدة إلى بكتيريا ممرضة من خلال اكتساب جينات تنقل خاصيات جديدة. ويمكن اعتبار الأمعاء، في هذا الإطار، كشبكة اتصال جينية للبكتيريا، تسمح بمشاركة الجينات المُكَوِّدة **لعوامل الفوعة** virulence factors، كأنظمة الإفراز والبروتينات المفعلة.

إن اكتساب جزر جينية إمراضية جديدة

(*) Targeting Bacterial Weapons

(١) المرض الجهازي هو مرض يصيب البدن ككل ولا يقتصر على عضو منه.

(٢) econiche

لقاح حَيويّ:
تحمل الماشية *الإشريكية القولونية* *E.coli* O157:H7 من دون أن تصاب بالمرض. ولكن هذه البكتيريا تسبب فشلا كلويا مميتا لدى الإنسان. الإيكونيش[2]، لقاح للماشية ضد هذه البكتيريا، صُرِّح باستخدامه في كندا وينتظر التصريح في الولايات المتحدة. يحمي الإنسان بإبعاد الممرضات عن مصادر طعامه.



يمنح الميكروب ميزة إضافية تعطيه القدرة على استعمار مضيف جديد، أو تزيد من عدائيته. ويعتقد أن *الإشريكية القولونية* المميتة O157، على سبيل المثال، ظهرت للمرة الأولى في أواخر السبعينات، عندما اكتسبت إحدى السلالات الحميدة نسبيا من *الإشريكية* جزيرةً جينيةً إمراضيةً تكوِّد نظاما جديدا من النظام T3SS؛ فاكتسبت بذلك الجين الخاص بصنع **ذيفان الشيگا الزحارية**[1]، وهي خاصية تسبب الإسهال الشديد والإصابة الكلوية المُرافِقَيْن لأخماج النظام O157.

اكتساب أسلحة جديدة[*]

طرح اكتشاف أنظمة الحقن والأدوات الأخرى التي تساعد الممرضات على البقيا والنمو داخل المضيف، أفكارا جديدة في العلاج تتخطى استراتيجيات المضادات الحيوية التقليدية في تخريب مباشر للخلايا البكتيرية. وقد استفاد فريق البحث الذي أنتمي إليه من معرفتنا بأنظمة الحقن، لتصميم لقاح جديد ضد *الإشريكية القولونية* O157.

يحتوي اللقاح على أجزاء من النظام T3SS الخاص بالممرض، إضافة إلى العديد من مفعلاته، وبذلك يستطيع جهاز المناعة المكتسبة تَعرّف البروتينات مباشرة ويقوم بتحييدها، مانعا البكتيريا من استخدامها. ويحمي هذا اللقاح البشر بشكل غير مباشر حيث إنه مخصص للأبقار. وتعيش *الإشريكية القولونية* O157 في نحو نصف أعداد الماشية الداجنة من دون أن تسبب لها المرض، ولكن براز الأبقار يمكن أن ينقلها إلى مصادر الطعام والماء البشرية، مما يجعل هذه البكتيريا تسبب المرض من خلال اللحوم والمحاصيل الملوثة. ومن خلال القضاء على *الإشريكية القولونية* O157 في موطنها، يمنع هذا اللقاح هذه *الإشريكية* من الانتقال نهائيا إلى مضيف بشري، وهو الآن يستخدم في كندا وتجرى دراسته لاستخدامه في الولايات المتحدة.

يدرس العديد من الباحثين استراتيجيات خلاقة أخرى لإضعاف الممرضات. فعند معرفة عوامل الفوعة البكتيرية، يمكن تطوير علاجات تجعل البكتيريا غير مؤذية، وذلك من خلال إيقاف الجينات التي تولّد هذه العوامل. وتقوم مقاربة من هذا النوع بتكوين جزيئات تقوم بحصار جزيئات الالتصاق في الخلية البكتيرية، مانعة إياها من اكتساب موطئ قدم في المضيف. وقد تم إكمال دراسة الفعالية لدى الإنسان لمضادات التصاق تستهدف *الإشريكية القولونية*، وما زالت بعض العقاقير الأخرى في مراحل تطوير مبكرة.

ويعتبر التدخل في قدرة المتعضيات على التواصل مع بعضها احتمالا واعدا أيضا، حيث تقوم البكتيريا *كالإشريكية القولونية* بتقييم وضعها في الأمعاء بالتجاوب مع الإشارات الكيميائية من النبيت الطبيعي وخلايا المضيف، بحيث تساعدها هذه الإشارات على اتخاذ قرارها في المهاجمة. وتشكل ***الزائفة الزنجارية***[2] مستعمرات تدعى **أغشية بيولوجية** biofilms في الرئتين، ومؤخرا بَيَّن باحثون [من جامعة كوپنهاگن] أن مكونات هذه الأغشية تطلق إشارات لتحذر من اقتراب الخلايا المناعية، مما يحفز البكتيريا الأخرى على إفراز پپتيد قاتل للخلايا المناعية.

إحدى مزايا استهداف العوامل البكتيرية الممرضة، هي أن هذه الجزيئات لا تكون عادة ضرورية لبقيا البكتيريا خارج أجسامنا. وعلى عكس المضادات الحيوية التقليدية التي تحاول قتل الممرضات بشكل كامل، فإن العلاجات الجديدة التي تمنع الاتصال وآليات الفوعة الأخرى، تعمل على تحويل الممرضات إلى بكتيريا غير مؤذية ، وتبقيها

(*) Building New Weapons
(۱) Shiga toxin
(۲) Pseudomonas aeruginosa

المؤلف



B. Brett Finlay

أستاذ مرموق في مختبرات ميشيل سميث، قسم الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزيئية وقسم البيولوجيا الميكروية والمناعة في جامعة بريتيش كولومبيا. تتمحور أبحاثه حول التفاعل مضيف – مُمْرِض على المستوى الجزيئي. وقد توصل إلى العديد من الاكتشافات الأساسية. وقد حاز العديد من الجوائز العلمية، وهو مؤسس مشارك لشركة إنميكس الصيدلانية. إضافة إلى كونه مدير مبادرة لقاح سارس SARS المتسارع.

حية؛ مما يقلل من إمكانية تطوير مقاومة لهذه العلاجات وإن كانت موجودة أصلا.

وتهدف طرائق أخرى لمحاربة المرضات إلى جعل البيئة غير ملائمة لها. ويدرس العديد من الباحثين إمكانية تعديل النبيت الطبيعي للمضيف لينافس المرضات. وإن مبدأ إعطاء **الطلائع البيولوجية** probiotics (وهي بكتيريا غير مؤذية مثل ***العصيات اللبنية***[١])، و**الداعمات البيولوجية** prebiotics (سكريات تعزز نمو البكتيريا المفيدة) للحماية من الأمراض معروف بشكل واسع، وقد استخدم العديد من الناس اللبن ليحاولوا تحسين نبيتهم الطبيعي. ولكن لم تُدرس هذه الطرائق بشكل دقيق وكاف لتحديد أي البكتيريا المفيدة ستكون أكثر نفعا أو قادرة على التنافس مع إصابة خمجية.

ويجري البحث بشكل أعمق عن سبل لتعزيز قدرة الخلايا المناعية البشرية على محاربة البكتيريا حيث تستخدم مواد منشطة للمناعة بشكل واسع كمضافات إلى اللقاحات من دون أن تسبب تأثيرات جانبية تذكر. مازال العديد من شركات التقانة الحيوية في مراحل مبكرة من الأبحاث وفي التجارب السريرية، وهي تعمل على تعزيز وتحسين الاستجابات المناعية الطبيعية. ويمكن استخدام هذه المقاربة لتحسين علاجات أخرى أو منع الأخماج أو معالجتها على الأقل.

ربما تكون العقبة الأكبر التي تواجه الجهود الرامية إلى تطوير عقاقير جديدة في هذا الإطار، هي الفصل بين الوظائف المفيدة للالتهاب - فدوره الطبيعي هو حشد الخلايا المناعية اللازمة لمحاربة الغزاة - عن المستويات الضارة التي قد تؤذي المضيف. إلاّ أن الأدلة تشير إلى إمكانية تجاوز هذه العقبة. وأحد الأمثلة هو عقار يعتمد على الأبحاث التي يقوم بها فريق البحث الذي أنتمي إليه مع زميلي في جامعة بريتيش كولومبيا <R. هانكوك> حول الببتيدات الدفاعية لدى المضيف: وهي بروتينات صغيرة تنتجها خلايا المناعة الأولية كرد فعل على المرضات. وبعض هذه الببتيدات تخترق غشاء الخلية البكتيرية وتقتلها، في حين يتصرف بعضها الآخر **كجزيئات إشارة**[٢] تدعو إلى المزيد من التعزيزات من الخلايا المناعية. وقد قمنا باكتشاف ببتيد من المجموعة الثانية، يدعى **الببتيد** (IDR-1)، يدفع الخلايا المتغصنة إلى إصدار إشارات كيميائية لاستدعاء البلاعم لمحاربة المرضات، ولكنه لا يدفعها إلى إطلاق أنواع محددة من الإشارات، وهي مواد كعامل التنخر الورمي ألفا، الذي يمكن أن يفعّل شلالا التهابيا خارجا عن السيطرة. وفي الحقيقة، قلّلت هذه الجزيئات في التجارب على الحيوانات الاستجابة الالتهابية، في حين عززت استجابة الخلايا المناعية المرغوب فيها في موقع الخمج.

وإذا كانت البكتيريا قادرة على التلاعب بإشارات الخلايا المناعية البشرية، فيحق لنا القيام بالمثل طالما نحن قادرون على ذلك. فبعد التطور الكبير الذي حققه العلماء في فهم كيف تسبب البكتيريا المرض خلال العقدين الماضيين، توضحت الآلية المعقدة للفوعة البكتيرية بشكل أكبر. وتطورت المرضات بالتوازي مع مضيفيها، وصَقَلت أدواتها إلى حدّ كبير. ولكن، وكما أن للبكتيريا مجموعة مدهشة من الحيل المخبأة تحت أكمامها الافتراضية، كذلك نحن. فدراسة الطرائق المدهشة التي تستخدمها البكتيريا لغزو المضيف والتغلب عليه، قد طورت فهمنا للمناعة وكذلك للآلية الإمراضية. وقد بدأ العلماء باستغلال هذا الإدراك المتنامي للتفاعل بين المضيف والمُمرِضات والنبيت الطبيعي، لهندسة طرق جديدة لمنع ومعالجة الأخماج البكتيرية، إلاّ أن هذه الحلول لا يمكن أن تتحقق في القريب العاجل. ■

(١) *Lactobacillus*
(٢) signaling molecules

مراجع للاستزادة

An Anti-infective Peptide That Selectively Modulates the Innate Immune Response. Monisha G. Scott et al. in *Nature Biotechnology,* Vol. 25, No. 4, pages 465–472; published online, March 25, 2007.

Manipulation of Host-Cell Pathways by Bacterial Pathogens. Amit P. Bhavsar, Julian A. Guttman and B. Brett Finlay in *Nature,* Vol. 449, pages 827–834; October 18, 2007.

Molecular Mechanisms of *Escherichia coli* Pathogenicity. Matthew A. Croxen and B. Brett Finlay in *Nature Reviews Microbiology;* published online, December 7, 2009.

Scientific American, February 2010

غاز سام منقذ للحياة(*)



*لقد تبين أن **سلفيد الهدروجين**(1) - وهو غاز مميت تشبه رائحته رائحة البيض الفاسد - يؤدي أدوارا رئيسية في جسم الإنسان، وقد يقود هذا الاكتشاف إلى علاج جديد للمعرضين للنوبات القلبية ولمرضى آخرين أيضا.*

<R. وانگ>



لنتصور أننا نتجول في قسم الطوارئ التابع لأحد المستشفيات والمتميز بجدرانه المزهوة بالتعقيم اليدوي وقد نظف كل سطح فيه بدقة متناهية ليصبح خاليا من الملوثات، في حين نشم رائحة البيض الفاسد أينما اتجهنا. على الرغم من هذا الاقتران المتناقض غير المستحب إلاّ أن الغاز السام المتميز بتلك الرائحة - **سلفيد الهدروجين**(1) - قد يصبح في المستقبل من البنية الأساسية في ذلك القسم من المستشفى. فقد اكتشف العلماء على مدى العقد الماضي أن غاز سلفيد الهدروجين ضروري فعلا لعدد من السيرورات في الجسم، مثل ضبط ضغط الدم وتنظيم الأيض. لقد دلت اكتشافاتنا على أن استخدام الغاز بشكل صحيح يمكن أن يساعد على علاج مرضى النوبات القلبية والمحافظة على حياة ضحايا الأذيات **الرضية** trauma حتى ينقل إليهم الدم أو يخضعون للجراحة.

نشقة سم(**)

وقد عرف العلماء منذ قرون التأثيرات السامة لغاز سلفيد الهدروجين في الإنسان. وهو يشكل اليوم الخطر الأول في سلسلة مخاطر السلامة المهنية في منابع حقول النفط والغاز، وعلى امتداد خطوط الأنابيب في معامل التصنيع ومعامل تكرير النفط. وتستطيع حاسة الشم لدينا أن تكشف غاز سلفيد الهدروجين عند تركيز مقداره 0.0047 **جزء في المليون** (ppm)(2)، ويعيق التنفس عند التركيز 500 ppm، ويؤدي إلى الوفاة عند التعرض لتركيز 800 ppm مدة

(*) TOXIC GAS, LIFESAVER
(**) A Whiff of Poison
(1) hydrogen sulfide
(2) part per million

مفاهيم مفتاحية

- ينتج الجسم كميات ضئيلة من غاز **سلفيد الهدروجين السام** (H_2S)(1)
- يشير الدليل الثابت إلى أن الغاز يؤدي دورا مفيدا في صحة الجهاز القلبي الوعائي وأجزاء أخرى من الجسم.
- استنادا إلى هذه النتائج، يقوم الباحثون بتطوير المعالجات المحتوية على سلفيد الهدروجين للحالات التي تتراوح من الأمراض القلبية إلى متلازمة الأمعاء المتهيجة.

محررو ساينتفيك أمريكان



خمس دقائق. ومع ذلك، وبغرابة نحتاج إلى غاز سلفيد الهدروجين أحيانا للبقاء على قيد الحياة.

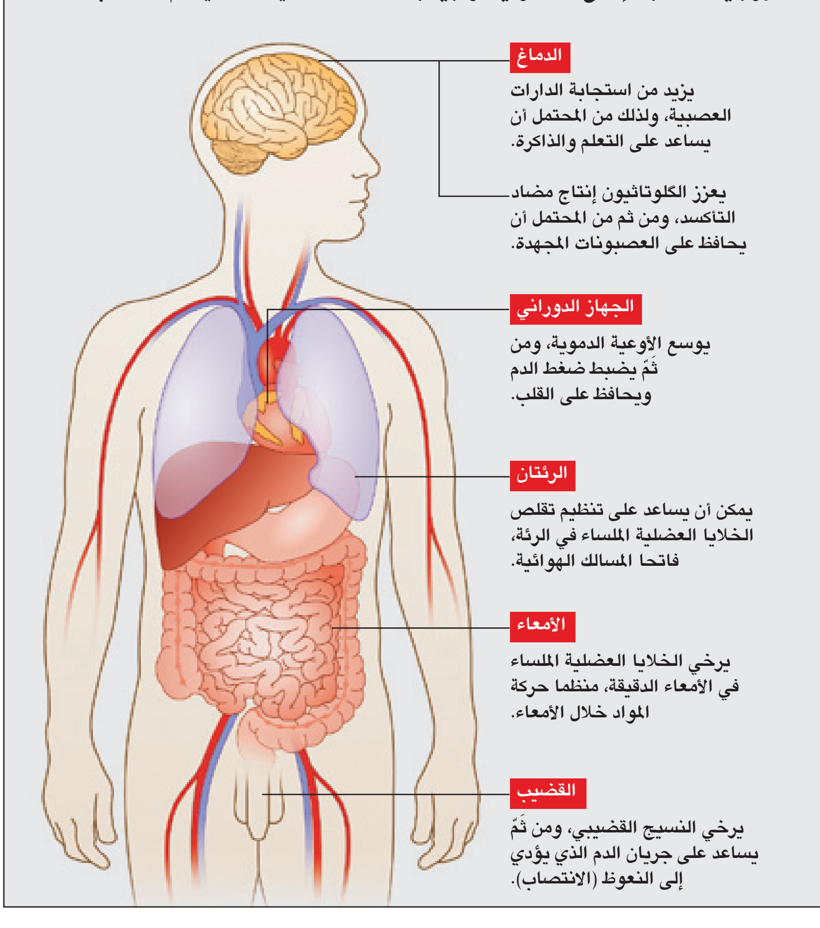
ولمعرفة كيف أصبح جسم الإنسان معتمدا على هذا الغاز الكريه الرائحة، لنعد 250 مليون سنة إلى الوراء، أي إلى الزمن الذي كان فيه احتمال بقاء الحياة على الأرض ضعيفا جدا. في ذلك الزمن كانت **الحقبة الجيولوجية البيرمية**(١) توشك على الانتهاء، وكان حدث الانقراض الوحيد الأكثر تدميرا من أي حدث جرى في أي زمن في بدايته. في ذلك الزمن، أدت إصدارات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة من الانفجارات البركانية الهائلة في سيبيريا إلى إحداث سلسلة من التغيرات البيئية نتج منها انخفاض مستوى الأكسجين في محيطات العالم بشكل خطير، وتبعا لإحدى نظريات **الانقراض الريادية**(٢)، فإن هذا الانخفاض في مستوى الأكسجين كان المسؤول عن الموت [انظر: «*أسباب غير نيزكية*

(١) the Permian era
(٢) leading extinction

[اكتشاف]

بخار حيوي(*)

قرر العلماء أنه على الرغم من أن سلفيد الهدروجين (H_2S) غاز سام، إلا أنه في الحقيقة ينتج بكميات ضئيلة في الجسم ومن المحتمل أن يسهم في الصحة بطرق عدة، مدرجة بالأسفل. على أي حال ليس جميع التأثيرات مفيدة، فعلى سبيل المثال: تستطيع كمية كبيرة من سلفيد الهدروجين أن تحبط إنتاج الأنسولين، وتبين بعض الأدلة أنه يمكن أن يفاقم الالتهاب.



للانقراضات الجماعية القديمة»، **العلوم**، العدد 1 (2007)، ص 8].

وكان لهذا التغير في كيمياء المحيطات أشد الضرر على **الأنواع** species البحرية الهوائية أو التي تتنفس الأكسجين. في حين أن الكائنات الحية اللاهوائية المعروفة ببكتيريا الكبريت الخضراء ازدهرت في تلك الظروف التي تتميز بمعدل منخفض من الأكسجين. وقد أدى نجاح هذه البكتيريا إلى جعل المحيط أقل ملاءمة لعيش معظم الكائنات الهوائية المتبقية فيه، بسبب إنتاجه كميات كبيرة من غاز سلفيد الهدروجين. وأخيرا، وكما تبين النظرية، فإن الغاز المميت الموجود في المحيط انتشر إلى الهواء، فمسح من على وجه الأرض جميع الحيوانات والنباتات. وعند نهاية الانقراض البيرميني، كانت نحو 95% من الأنواع البحرية و70% من الأنواع الأرضية قد أصابها الفناء.

تشير النتائج إلى أنه يمكن استخدام سلفيد الهدروجين في منع أو علاج فرط ضغط الدم، والنوبات القلبية والجلطة الدماغية في الإنسان.

من المحتمل أن تكون أهمية غاز سلفيد الهدروجين للسيرورات الفيزيولوجية البشرية قد نشأت منذ ذلك العهد البعيد. والمخلوقات التي نجت من هذه الكارثة هي التي بإمكانها تحمل سلفيد الهدروجين وأن تستهلكه في بعض الأحيان، ونحن البشر احتفظنا ببعض من الإلف لهذا الغاز.

اتبع أنفك(**)

إن سلفيد الهدروجين ليس الغاز الضار الوحيد الذي وجد فاعلا في جسم الإنسان. ففي ثمانينات القرن العشرين بدأ الباحثون بالكشف عن دليل يثبت أن غاز أكسيد النتريك (NO)، والمعروف أيضا بأول أكسيد النتروجين، ينتجه الجسم بتراكيز منخفضة ويقوم بدور **جزيء مؤشر** signaling molecule يؤثر في سلوك الخلية. ولقد تبين من العمل الذي أدى إلى منح جائزة نوبل للفيزيولوجيا والطب لعام 1998 أن أكسيد النتريك يوسع الأوعية الدموية، وينظم الجهاز المناعي، وينقل الإشارات بين **النورونات (العصبونات)**(1) كما يقوم بوظائف أخرى. وإن أول أكسيد الكربون (CO)، وهو غاز عديم اللون والرائحة ويعرف «بالقاتل الصامت» يتصف بالتأثيرات نفسها.

واقتنعت نتيجة لدراستي غازيْ أكسيد النتريك وأول أكسيد الكربون، بأنه من المحتمل أن الجسم يقوم بإنتاج واستخدام **ناقلات غازية**(2) أخرى. وفي عام 1998 أجهدت فكري باستمرار في معرفة ماهية هذه الغازات. في ذلك الصيف خطرت لي فكرة عندما كنت عائدا إلى البيت عقب يوم عمل شاق، وإذ بي أشتم رائحة نتنة. قمت بتتبع

(*) A Vital Vapor
(**) Follow Your Nose
(1) neurons
(2) gasotransmitters

مصدرها لأجده أخيرا في الخزانة الزجاجية التي تعرض بها مقتنيات الأسرة. لقد كانت الرائحة منبعثة من بيضة متشققة ومتعفنة، وهي إحدى بيضات عيد الفصح التي كانت ابنتي الكبرى قد صبغتها لتقديمها مشروعا مدرسيا. عندئذ بدأت أتساءل عمّا إذا كان غاز البيضة المتعفنة، سلفيد الهدروجين، تنتجه أيضا أعضاء جسمنا أو أنسجته.

وبما أن عملي كان منصبا على تأثير غازي أكسيد النتريك وأول أكسيد الكربون في الجهاز القلبي الوعائي، قررت أن أبدأ البحث في تأثير غاز سلفيد الهدروجين في هذا الجهاز أيضا. لقد كان مكانا جيدا للبدء به، حيث كشفت سلسلة من التجارب نشاطا مهما.

وسرعان ما بينت التجارب التي أجريتها مع زملائي وجود كميات ضئيلة من الغاز في جدران الأوعية الدموية للجرذان. وبما أن فيزيولوجيا القوارض شبيهة جدا بنظيرتها لدى الإنسان، فإن هذا الاكتشاف بلا شك يعني أن الأوعية الدموية البشرية تقوم بصنعه أيضا. كانت هذه النتيجة مشجعة ولكن لمعرفة ما إذا كان غاز سلفيد الهدروجين مهما لعمل الجسم كان لابد من إثبات أكثر من مجرد وجوده في الجدران الوعائية.

وكانت الخطوة التالية معرفة كيف ينتج الجسم غاز سلفيد الهدروجين. قررنا أن نفحص إنزيما يدعى سيستاثيونين – گاما – لياز (CSE)[1]، وهو معروف بالمساعدة على إنتاج الغاز في البكتيريا. لقد أثبتت الدراسات السابقة وجود الإنزيم CSE في الكبد، حيث يقوم بتنسيق تركيب العديد من الأحماض الأمينية، أو وحدات بناء البروتين التي تحتوي على الكبريت. ولكن لم يدرك أحد هل يوجد الإنزيم CSE في الأوعية الدموية. وما لبثنا أن تأكدنا من وجود الإنزيم فيها، حيث كان يتحد مع حمض أميني يدعى سيستئين-L (L-cysteine) لإنتاج غاز سلفيد الهدروجين ومركبين آخرين هما الأمونيوم وپيروڤات.

وبعد إثبات مصدر غاز سلفيد الهدروجين



لماذا يعد الثوم مفيدا[*]

تدل الدراسات على أن الثوم يستطيع تليين جدران الأوعية الدموية، ويمنع تلاصق الصفيحات بعضها ببعض، ويخفض ضغط الدم، ومن ثم يقلل احتمال النوبة القلبية وجلطة الدماغ وأمراض الكلى. كما أن الأبحاث ربطت أيضا تناول الثوم بتحسن وظيفة الجهاز المناعي وانخفاض مخاطر بعض أنواع السرطان.

إن السر في فوائد الثوم الصحية الظاهرية يمكن أن يكمن في علاقته بغاز سلفيد الهدروجين. في عام 2007 قدم <D. W. كروس> [من جامعة ألاباما] تقريرا يفيد أن المركبات المحتوية على سلفيد والموجودة في الثوم تتحول إلى سلفيد الهدروجين بواسطة جزيئات موجودة في غشاء كريات الدم الحمراء. وطبقا للنتائج التي نشرها في العام نفسه <Y. زوء> وزملاؤه [من جامعة فودان في شانگهاي] فإن الثوم يحتوي على مركب يدعى آليل-S سيستئين-L (S-allyl-L-cysteine)، يدعم إنتاج غاز سلفيد الهدروجين في الدم ودورانه.

في الأوعية الدموية، اتجه اهتمامنا إلى الكشف عن دوره هناك. ولما كان قد عرف عن غاز أكسيد النتريك دوره في استرخاء الأوعية الدموية، افترضنا أن سلفيد الهدروجين يمكن أن يؤدي وظيفة مشابهة. وقد أثبتت التجارب اللاحقة هذا الحدس: حيث توسعت الأوعية الدموية للجرذ عند نقعها بمحلول سلفيد الهدروجين.

لقد بدأنا بالاعتقاد أن سلفيد الهدروجين يمكن أن يكون منظما لضغط الدم، كما هو الحال في أكسيد النتريك. ولكن الآلية الجزيئية لهذه الظاهرة كانت لا تزال غير معروفة. وأخيرا أتت الإشارات من خلال أبحاثنا على خلايا مفردة أخذت من الأوعية الدموية لحيوان. برهنت النتائج التي نشرت في عام 2001 حقيقة مدهشة. ففي حين يؤدي أكسيد النتريك إلى استرخاء جدران الأوعية الدموية بواسطة تنشيط الإنزيم **گوانيليل سيكلاز** guanylyl cyclase الموجود في الخلايا العضلية الملساء، يقوم سلفيد الهدروجين أيضا بالعمل نفسه ولكن بطريقة أخرى مختلفة بالكامل. يقوم سلفيد الهدروجين تحديدا بتنشيط پروتينات تدعى قنوات K_{ATP} (ثلاثي فوسفات الأدينوزين K) والتي تتحكم في تدفق أيونات الپوتاسيوم خارج الخلايا العضلية الملساء. يولد هذا التدفق تيارا كهربائيا يقوم بتحديد كمية أيونات الكالسيوم التي تستطيع دخول الخلية مما يؤدي إلى استرخاء العضلات وتوسع الأوعية.

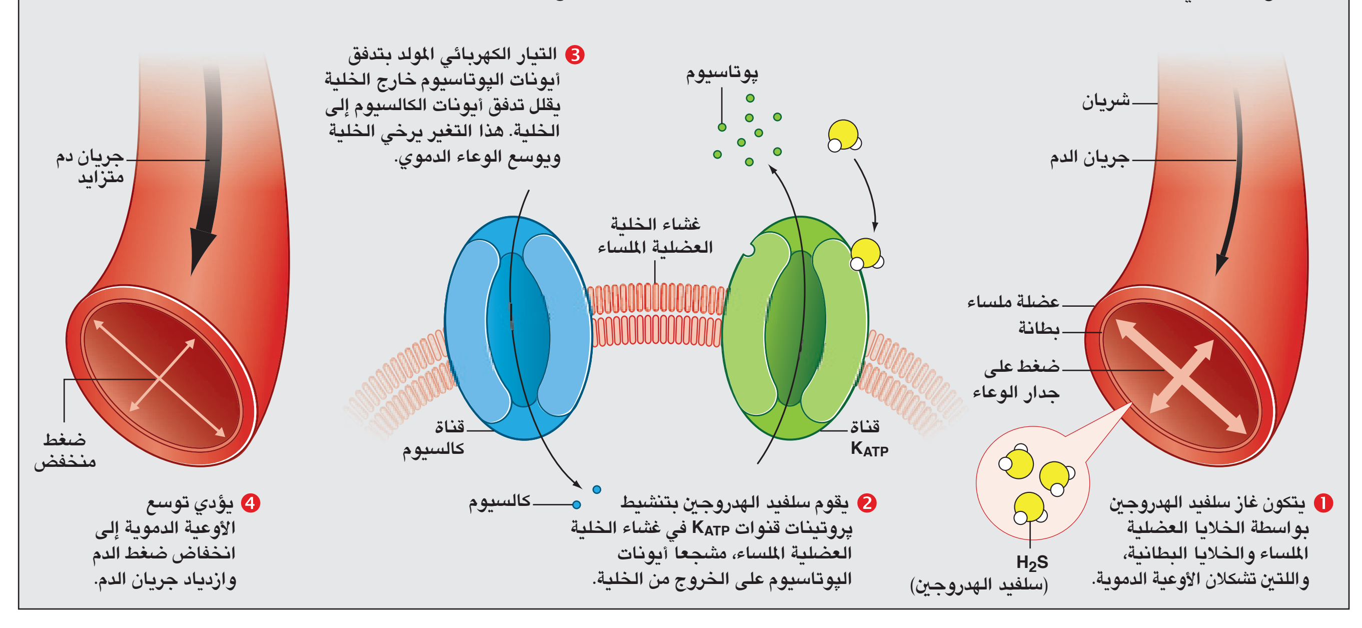
وللانتقال من الخلايا المعزولة إلى الحيوانات الحية، قمنا بحقن الجرذان بمحلول سلفيد الهدروجين، وكانت النتيجة انخفاض ضغط الدم لديها – ربما لأن الغاز أدى إلى فتح الشرايين، فسهل بذلك جريان الدم. لقد أصبح لدينا دليل ثابت على أن سلفيد الهدروجين يرخي الأوعية الدموية ومن ثَمّ يسهم في ضبط ضغط الدم. ولكننا

(*) Why Garlic Is Good For You
(١) cystathionine-gamma-lyase

[كيف يعمل غاز سلفيد الهدروجين]

غاز مرخٍ(*)

يؤدي سلفيد الهدروجين دورا رئيسيا في تنظيم ضغط الدم. فقد بينت الدراسات السابقة أن هناك غازا آخر، أكسيد النتريك، يرخي الأوعية الدموية عن طريق تنشيط إنزيم يعرف بالإنزيم گوانيليل سيكلاز، موجود في الخلايا العضلية الملساء للأوعية. وحديثا، قرر العلماء أن سلفيد الهدروجين له التأثير الموسع نفسه في الأوعية الدموية، ولكنه يعمل من خلال مسلك مختلف كليا، كما هو موضح هنا.



لم نكن متأكدين من أن إضافتنا للغاز في الأوعية الدموية تعكس بشكل صحيح ما يحدث حينما تقوم الأوعية بإنتاج غاز سلفيد الهدروجين الخاص بها.

لتحديد تأثيرات الغاز بشكل أفضل، قمت مع زملائي في عام 2003 بتطوير خط لإنتاج فئران معدلة هندسيا بحيث ينقصها الإنزيم CSE، ومن ثَمّ عدم القدرة على إنتاج سلفيد الهدروجين في الأوعية الدموية. أمضينا السنوات الخمس التالية في دراسة هذه الفئران التي تعرف **بالفئران المصروعة**(1) بالتعاون مع فرق البحث التي يقودها <S. سنايدر> [من جامعة جون هوپكنز] و<L. واو> [من جامعة ساسكاتشوان في كندا]. وفي النهاية أثمرت جهودنا، فقمنا في عام 2008 بنشر مقالة في مجلة *Science* نفصل فيها اكتشافنا. فمع تقدم العمر في الفئران المحورة تقلصت أوعيتها الدموية وأدى ذلك إلى ارتفاع ضغط الدم لديها إلى مستوى أعلى من الطبيعي بشكل ملحوظ (جرى القياس بكفات ضغط دم صغيرة جدا ثُبتت حول ذيولها). ولكن ضغط الدم لديها انخفض عند حقنها بمحلول سلفيد الهدروجين.

مازال علينا أن نستكشف هل بإمكان الإسبات(2) بسلفيد الهدروجين الإبقاء على الحياة في حالة انتظار مع المحافظة على وظائف الدماغ الحرجة مثل الذاكرة والتفكير.

رسخ العمل بهذه الفئران المصروعة دون أدنى شك في أن سلفيد الهدروجين يؤدي دورا حيويا في الجهاز القلبي الوعائي، إضافة إلى تفسيره لغزا قديما. لقد عرف الباحثون، في السنوات التي تلت سنة الفوز بجائزة نوبل نتيجة العمل على أكسيد النتريك، أن السبب في توسع الأوعية الدموية لايعود كله إلى ذلك الناقل الغازي؛ وذلك لسبب واحد هو أن الأوعية الدموية المحيطية (تلك التي لا تؤدي مباشرة إلى القلب أو تنشأ عنه)، في الحيوانات المحورة جينيا كي لا تنتج غاز أكسيد النتريك في الخلايا البطانية المبطنة لجدران الأوعية، لا تزال قادرة على الاسترخاء. ولكن ما هو المسبب لهذا الاسترخاء في غياب غاز أكسيد النتريك؟

دلت دراساتنا على أنه من المحتمل أن

(*) Relaxing Gas

(1) knockout mice فئران مصابة بالصرع.

(2) hibernation إسبات أو إشتاء حالة تشبه النوم يمر بها الكثير من الحيوانات في فصل الشتاء. (التحرير)

[معالجات تحتوي على غاز سلفيد الهدروجين]

غاز سلفيد الهدروجين للإنقاذ(*)

يُقيِّم مطورو الأدوية باستمرار إمكانية المركبات المحتوية على سلفيد الهدروجين في علاج عدد من الحالات.

الحالة	المركب	الشركة	مرحلة التطوير
■ جراحة القلب ■ النوبة القلبية ■ أذيات الكلى	IK-1001	إكاريا Ikaria	المرحلة II تجارب كفاءة المرحلة II تجارب كفاءة المرحلة I تجارب أمان
داء الأمعاء الالتهابي	ATB-429	أنتبس Antibes	المرحلة I تجارب أمان
آلام المفاصل الحادة والمزمنة	ATB-429	أنتبس Antibes	التجارب قبل السريرية
متلازمة الأمعاء المتهيجة	ATB-429	أنتبس Antibes	التجارب قبل السريرية
التهاب المفاصل	ACS-15	CTG Pharma*	التجارب قبل السريرية

* سوف يختبر المؤلف مركبات لشركة GTC فارما.

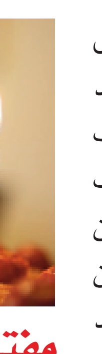
سر اللغز يكمن في سلفيد الهدروجين. وعلى الرغم من أنه منذ البداية كنا قد أوضحنا أن إنتاج الإنزيم CSE بواسطة سلفيد الهدروجين يحدث في الخلايا العضلية الملساء، إلا أن الدراسات اللاحقة بينت أن الخلايا المبطنة والمأخوذة من الفئران، والبقر والإنسان تحتوي أيضا على الإنزيم CSE بكميات أكبر من تلك التي في الخلايا العضلية الملساء. إن كيفية تقسيم مسؤولية استرخاء الأوعية بالضبط بين غازي أكسيد النتريك وسلفيد الهدروجين لا تزال غير واضحة على الرغم من وجود بعض الأدلة التي توحي أن معظم العمل في الأوعية الكبيرة يقوم به أكسيد النتريك، أما في الأوعية الصغيرة فيقوم به سلفيد الهدروجين.

قنطار علاج؟(**)

لَفَتَ اكتشاف إنتاج غاز سلفيد الهدروجين في الجهاز القلبي الوعائي ومساعدته على تنظيم ضغط الدم انتباه العديد من الباحثين الذين يبحثون عن طرائق جديدة لحماية القلب من ضرر نقص الأكسجين، الذي يحدث عندما تمنع الجلطة الدموية نقل الأكسجين إلى القلب مسببة موت النسيج القلبي (نوبة قلبية). ففي عام 2006 قدم <F .G. باكستر> [وهو الآن في جامعة كارديف في ويلز] وزملاؤه تقريرا يفيد أنهم لدى العمل على قلوب جرذان معزولة تزود بمحلول ملحي لتقليد الدورة الدموية ومن ثم يمنع عنها هذا المحلول لتقليد نوبة قلبية، وجدوا أن تقديم سلفيد الهدروجين لهذه القلوب المعزولة قبل وقف تدفق المحلول الملحي يخفض من نسبة تلف العضلة القلبية. كما أوضح <D. ليفير> [من جامعة إيموري] في السنة التالية أن الفئران المحورة هندسيا لإنتاج المزيد من سلفيد الهدروجين في القلب كانت قادرة بشكل أفضل على تحمل حرمان الأكسجين الناتج من الجلطة وأكثر مقاومة للضرر الذي عادة ما ينشأ عن إعادة جريان الدم للأنسجة عقب فترة من الحرمان (تعرف هذه الحالة أذية إعادة التروية).

تشير مثل هذه النتائج إلى إمكانية استعمال سلفيد الهدروجين في منع أو علاج فرط الضغط، والنوبات القلبية وجلطات الدماغ في الإنسان. ولكن قدرة الغاز على إرخاء الأوعية الدموية تعني أن تطبيقاته المحتملة يمكن أن تتوسع لتشمل مشكلات الأوعية الدموية الأخرى متضمنة **الخلل الوظيفي الانتعاظي** erectile dysfunction. فالانتعاظ القضيبي يُعزز بتوسيع الأوعية الدموية. وتعمل **الفياكرا** Viagra على إطالة فترة تأثير أكسيد النتريك في القضيب حيث يقوم الغاز بإرخاء أوعيته الدموية معززا جريان

(*) H_2S To The Rescue
(**) A Pound of Cure?
(***) A Key To Longevity?
(١) the nematode worm
(٢) *Caenorhabditis elegans*



مفتاح طول العمر؟(***)

يشير العمل الأولي إلى أن سلفيد الهدروجين يمكن أن يؤثر في طول العمر. فقد وجد <روث> وزملاؤه [من جامعة واشنطن] من التجارب التي أجريت على الدودة الشريطية(١) كينورهابديتيس إيليكانس(٢) أن تلك التي تعيش في بيئة تحتوي على تركيز منخفض من الغاز تعيش مدة أطول بمقدار 70% من التي لاتعيش في تلك البيئة. وبشكل فضولي، يبدو أن سلفيد الهدروجين لا يعمل بأي طريقة من الطرق الثلاث الرئيسية المعروفة في تنظيم طول عمر هذه المخلوقات. ولا تزال الآلية التي يقوم بها الغاز بتمديد عمر الدودة غير واضحة، ولكن من المحتمل أنه يقوم بتنظيم الجين *sir-2* المرتبط بالحياة الطويلة للديدان والكائنات الحية الأخرى. وقد فَصَّل الباحثون نتائجهم في مجلة *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* in 2007.

الدم فيها. وتظهر الدراسات أن سلفيد الهدروجين يستطيع أن يعطي التأثير نفسه، ولكن المزيد من العمل مطلوب لتحديد دوره بدقة في نسيج القضيب البشري. (أول أكسيد الكربون ينتج أيضا في القضيب ولكنه يسهِّل القذف وليس الانتعاظ).

لا يقتصر وجود سلفيد الهدروجين على الجهاز القلبي الوعائي فقط، بل ويصنع أيضا في الجهاز العصبي بواسطة الإنزيم **سيستاثيونين بيتا سينثيتاز** (cystathionine beta synthetase) وليس بواسطة الإنزيم CSE. إن ما يقوم به الغاز غير مؤكد تماما، ولكن بعض الدراسات تقترح أن يكون **معدّلا عصبيا**[1] له القدرة على جعل الدارات العصبية متجاوبة للمنبهات بالزيادة والنقصان. وقد يشارك في عملية تعرف **بالتكمين** potentiation الطويل الأمد الذي يسهل الاتصال الخلوي ومن ثَمّ من الممكن أن يعزز التعلم والذاكرة. إضافة إلى ذلك، فقد تبين أن الغاز يزيد من مستويات مضاد التأكسد الگلوتاثيون في الخلايا العصبونية مما يدل على حمايته لها من الكرب. وكذلك قد يساعد الجسم على تحسس الألم، ومن ثَمَّ يعزز قدرته على الاستجابة وفقا لذلك.

ويبدو أيضا أن الغاز يساعد على تنظيم الأيض، وهو سيرورة كيميائية تنظم استهلاك الطاقة واصطناعها. في سلسلة من التجارب المذهلة، قام ‹B. M. روث› [من جامعة واشنطن] مع زملائه بإعطاء غاز سلفيد الهدروجين للفئران بتراكيز قليلة بغية تقليل الأيض ومن ثَمّ إحباط ازدياد فاعلية بعض الأمراض. ووجد أن معدل ضربات القلب في الحيوانات المجرب عليها قد انخفض فورا إلى النصف، مما نقلها إلى حالة **إنعاش معلقة** suspended animation يتباطأ فيها الأيض كثيرا دون أي أذى أو تأثير سلبي واضح، وذلك بجعلها تستنشق مزيجا من الأكسجين وغاز سلفيد الهدروجين. ويبدو في **إسبات سلفيد الهدروجين** «H_2S hibernation» هذا أن الجسم يحافظ على المستوى القاعدي للأيض الذي يحمي الأعضاء الحيوية من الضرر إلى أن تعود مستويات تزويد الطاقة إلى المعدل الطبيعي. تستطيع الحيوانات بعد ثلاثين دقيقة من إيقاف استنشاق سلفيد الهدروجين أن تستعيد معدل أيضها المعتاد [انظر: «*زيادة الوقت المتاح في إيقاف مؤقت لمظاهر الحياة*»، **العلوم**، العددان 11/10 (2005)، ص 16].

من الممكن أن يكون إسبات سلفيد الهدروجين هدية لطب الطوارئ إذا ما ثبت أنه آمن وفعال. إذ يمكن أن يوفر استنشاق المصاب في موقع حادث سير أو المصاب بنوبة قلبية لغاز سلفيد الهدروجين الوقت اللازم لنقل المريض بنجاح إلى المستشفى لتلقي العلاج المنقذ للحياة. كما يمكن أيضا لغاز سلفيد الهدروجين في حالة النعاش المعلق أن يبقي المريض على قيد الحياة إلى أن يصبح العضو اللازم للزراعة متوافرا. (يمكن للغاز أيضا أن يبقي الأعضاء المتبرع بها حية فترة أطول). إضافة إلى ذلك، فإنه يمكن الاستفادة من توفر علاج سلفيد الهدروجين في مناطق الحروب والكوارث الطبيعية، حيث يمكن أن يخفف من الطلب على نقل الدم إلى حين توفيره بشكل كاف. وفي عام 2008 قدم ‹روث› وزملاؤه تقريرا يفيد أن حالة الجرذان التي استنشقت غاز سلفيد الهدروجين عقب فقدانها 60% من دمائها أصبحت بشكل أفضل من تلك التي لم تتلق علاجا، حيث تعرض فقط 25% من الجرذان المعالجة للرضح مقارنة بنحو 75% من غير المعالجة.

تفاؤل حذر(*)

على الرغم من ذلك، ليس كل ما يلامس سلفيد الهدروجين يتحول إلى ذهب. فعلى سبيل المثال، لا يزال من غير المؤكد هل

(*) Cautious Optimism
(1) neuromodulator

المؤلف



Rui Wang

هو أستاذ علم الأحياء ونائب الرئيس للأبحاث في جامعة ليكهيد في ثاندر بي بولاية أونتاريو. كما أنه رئيس جمعية الفيزيولوجيا الكندية وضليع في دراسة الأيض والوظائف الفيزيولوجية لمجموعة صغيرة من الجزيئات للغاز تعرف بالناقلات الغازية والتي تتضمن أكسيد النتريك وأول أكسيد الكربون وسلفيد الهدروجين. في عام 2008، حاز ‹وانگ› جائزة «فايزر سينيور ساينتست» رفيعة المستوى من الجمعية الكندية لعلم الأدوية والمداواة.

يحسن الغاز الالتهاب أم يزيده سوءا. وتظهر الدراسات التي جرت في مختبري وفي أماكن أخرى أن للغاز دورا أساسيا في الداء السكري من النمط 1، الذي غالبا ما يحدث في الطفولة ويترك المرضى معتمدين على حقن الأنسولين للبقاء على قيد الحياة. وينتج سلفيد الهدروجين في الخلايا المنتجة للأنسولين في البنكرياس وتعرف بخلايا بيتا، إضافة إلى أماكن أخرى. ويكون إنتاج سلفيد الهدروجين في هذه الخلايا مرتفعا جدا في الحيوانات المصابة بالداء السكري من النمط 1. كما يكون لهذه الزيادة من الغاز تأثيران مرضيان. الأول، قتل عدد كبير من خلايا بيتا، وترك عدد قليل جدا منها لإنتاج الأنسولين اللازم لتفكيك الگلوكوز لإنتاج الطاقة. والثاني، إعاقة إطلاق الأنسولين من خلايا بيتا المتبقية. بمعنى آخر، يمكن إلقاء اللوم بشكل جزئي على سلفيد الهدروجين في سبب وجود مستوى غير كاف من الأنسولين بالدم في حالات الداء السكري من النمط 1.

إضافة إلى ذلك، فإن بعض التأثيرات الإيجابية الموثقة لغاز سلفيد الهدروجين في الجرذان والفئران لم تلاحظ في الثدييات الأكبر. فعلى سبيل المثال، في عام 2007 بينت الدراسة التي أجراها فريق فرنسي أن الأغنام التي استنشقت الغاز لم تدخل في حالة الإسبات الملاحظة في القوارض. وفي دراسة أخرى أيضا، تبين أن الخنازير الصغيرة التي أعطي لها غاز سلفيد الهدروجين قد ازداد معدل أيضها بدلا من انخفاضه.

من غير الواضح هل يؤدي تحريض إسبات سلفيد الهدروجين إلى اختلال وظيفة الدماغ أم لا. على الرغم من أن التقييمات المختبرية لم تحدد مثل هذا الخلل الوظيفي في الحيوانات المعالجة، إلاّ أن تغيرات الوظيفة الدماغية أصعب قليلا من أن تحدد في حيوانات التجارب. ومازالت قيد الدراسة مسألة هل يستطيع إسبات سلفيد الهدروجين إيقاف الحياة، وفي الوقت نفسه المحافظة على وظائف الدماغ الحرجة مثل الذاكرة والصحة العقلية.

ومع ذلك، فإن قدرة سلفيد الهدروجين العلاجية الرائعة قد ولدت اهتماما بالغا لدى الصناعة الصيدلانية. وتقوم الآن العديد من الشركات بتطوير منتجات تهدف إلى إعطاء جرعات من سلفيد الهدروجين في الجسم. على سبيل المثال، أنتجت شركة CTG فارما الإيطالية مركبات متعددة هجينة **للأدوية اللاستيرودية المضادة للالتهاب** (NSAIDs)[1] وغاز سلفيد الهدروجين. دلت التجارب على الحيوانات أن هذه الأدوية فعالة في علاج الالتهابات العصبونية والمعدية المعوية وخلل الوظيفة الانتعاظية، والنوبة القلبية والتغيرات المرضية لبنيان الأوعية الدموية. في غضون ذلك، أطلقت حديثا شركة إيكاريا في نيوجرسي والمشارك في تأسيسها <روث> تجارب المرحلة II، أو المرحلة الفعالة، لنموذج من سلفيد الهدروجين قابل للحقن في الأشخاص الذين يعانون نوبات قلبية أو يخضعون لجراحة قلبية أو رئوية.

على الرغم من ميل الأشخاص الطبيعي إلى تجنب التعرض لغاز سلفيد الهدروجين، فإنه من الواضح من الأبحاث التي أجريت على مدى العقد الماضي أن هذا الغاز يؤدي دورا حرجا في صحة القلب وبشكل محتمل في صحة الدماغ وأعضاء أخرى. كما أنه من المحتمل أن يؤثر في قدرات أخرى لا بد من تعرفها أيضا. هذه الإنجازات الكبيرة سوف تقود أخصائيي الفيزيولوجيا إلى تطوير فرضية جديدة في **الأساس الجزيئي**[2] لصحة الإنسان. ومع أن العمل المستمر على سلفيد الهدروجين مازال فتيا، إلا أن الفرص التي ستقود حتما إلى علاجات لبعض الأمراض التي يراوغنا شفاؤها، تبدو جيدة. ■

(١) nonsteroidal anti-inflammatory drugs
(٢) the molecular basis

مراجع للاستزادة

Two's Company, Three's a Crowd—Can H_2S Be the Third Endogenous Gaseous Transmitter? R. Wang in *FASEB Journal*, Vol. 16, pages 1792–1798; November 2002.

H_2S Induces a Suspended Animation-like State in Mice. E. Blackstone, M. Morrison and M. B. Roth in *Science*, Vol. 308, page 518; April 22, 2005.

H_2S as a Physiologic Vasorelaxant: Hypertension in Mice with Deletion of Cystathionine Gamma-Lyase. G. Yang et al. in *Science*, Vol. 322, pages 587–590; October 24, 2008.

Pancreatic Islet Overproduction of H_2S and Suppressed Insulin Release in Zucker Diabetic Rats. L. Wu et al. in *Laboratory Investigation*, Vol. 89, pages 59–67; January 2009.

***Scientific American*, March 2010**

إخفاء الهوائيات[*]

هوائيات البلازما تختفي حين إطفائها.

يستعمل الرادار الموجات الراديوية لتمكين الطائرات والسفن والمحطات الأرضية من الرؤية بعيدا عبر ما يحيط بها، حتى في الليل وفي الطقس الرديء. ولكن الهوائيات المعدنية التي تُشع تلك الموجات تعكس أشعة الرادار بقوة أيضا، وهذا يجعلها مرئية جدا من قبل الآخرين، وتلك صفة مميتة أثناء الحرب. غير أن فئة جديدة من هوائيات الراديو اللامعدنية يمكن أن تُصبح غير مرئية من قبل الرادارات، بسبب توقفها عن عكس الموجات الراديوية حين إيقافها عن العمل. إن هذا الابتكار، الذي يُسمَّى تقانة هوائيات البلازما، يقوم على تهييج غازات ضمن أنابيب محكمة الإغلاق لتكوين سُحُب من الإلكترونات والأيونات المشحونة الحرة الحركة.

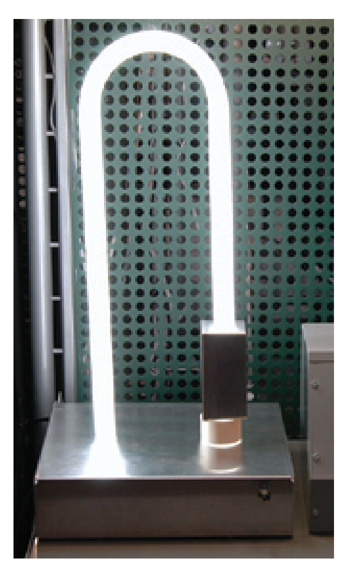
صحيحٌ إن فكرة هوائيات البلازما قد طرقت أبواب المختبرات عقودا عدة، إلا أن <T. أندرسون> [رئيس الشركة Haleakala Research and Development، وهي شركة صغيرة في بروكفيلد بماسَّاشوستس] والفيزيائي <I. ألكسف> [من جامعة تنسِّي في نوكسفيل] أعادا إحياء هذا المفهوم في المدة الأخيرة. فأبحاثهما تفتح من جديد إمكان صنع هوائيات صغيرة الحجم، ممانعة للتشويش، تستعمل مقادير متوسطة من الطاقة، وتولِّد قليلا من الضجيج، ولا تتداخل مع الهوائيات الأخرى، ويمكن توليفها بسهولة مع كثير من الترددات.

حين تطبق نبضة كهربائية راديوية على أحد طرفي الأنبوب (استعمل <أندرسون> و<ألكسف> مصابيح فلوريّة)، تُؤيِّن طاقة النبضة الغازَ فيه لتوليد البلازما. ويقول <أندرسون>: «إن الكثافة العالية للإلكترونات ضمن البلازما تجعلها موصلا ممتازا للكهرباء، تماما كالمعدن.» وتستطيع البلازما، حينما تكون في حالة التهيُّج، إشعاع وامتصاص وعكس الموجات الراديوية فورا. ويؤدي تعديل كثافة البلازما، بواسطة التحكم في القدرة المطبَّقة على الأنبوب، إلى تغيير الترددات الراديوية التي تبثُّها وتلتقطها. يُضاف إلى ذلك، أن الهوائيات المولَّفة مع كثافات البلازما المناسبة يمكن أن تكون حساسة للترددات الراديوية المنخفضة، مع بقائها عديمة الاستجابة للترددات العالية المستعملة في معظم الرادارات. ولكن خلافا للمعادن، وفَوْر فصل الجهد الكهربائي عن البلازما، تعود بسرعة لتصبح غازا طبيعيا، ولذا يختفي الهوائي.

قد يكون لفعل الاختفاء هذا تطبيقات عديدة، وفق قول <ألكسف>. فشركة **تعهدات الدفاع** Lockheed Martin الأمريكية سوف تختبر في الجو قريبا هوائي بلازما (موضوعا ضمن حاضن متين من البوليمر غير الموصل) صُمِّم ليكون منيعا على الكشف من قبل الرادار حتى أثناء إرساله واستقباله موجات راديوية منخفضة التردد. وفي الأثناء يأمل سلاح الجو الأمريكي بأن تكون هذه التقانة قادرة على تحجيب إلكترونيات السواتل لحمايتها من إشارات التشويش القوية التي يمكن أن توجَّه من صواريخ العدو نحوها. ويرعى الجيش الأمريكي أبحاثا في مصفوفات هوائيات بلازمية قابلة للتوجيه يكون فيها مرسل ومستقبل الرادار مُحاطَيْن بعواكس مكوَّنة من هوائيات بلازمية. ويقول <ألكسف>: «عند إيقاف تشغيل أحد الهوائيات، فإن إشارات الموجات الميكروية المُشَعَّة من مركز المصفوفة سوف تمر عبر النافذة المفتوحة ضمن حزمة شديدة التوجيه.» ومن ناحية أخرى، يمكن استعمال الجهاز نفسه مستقبِلا موجِّها لتحديد مواقع المرسلات الراديوية بدقة.

ولكن، ليس جميع الباحثين الملمِّين بهذه التقانة واثقين من فرص نجاحها. فقد استقصت البحرية الأمريكية تقانة هوائيات البلازما قبل ما يزيد على عشر سنوات، وفق ما يتذكَّره <W. مانهايمر> [فيزيائي البلازما لدى مختبر أبحاث البحرية] آملة بأن تمثِّل البلازما أساسا لبديل مصغَّر وقابل للإخفاء لرادارات مصفوفات الهوائيات الطورية المستعملة حاليا في طرّادات **منظومة البحرية الأمريكية**[1] Aegis وغيرها من الزوارق. فمن الممكن توجيه حزم الموجات الميكروية التي تُشعها مصفوفات عناصر الهوائيات تلك باتجاه أهدافها بطريقة إلكترونية. ويتابع <مانهايمر> قائلا إن الباحثين لدى البحرية حاولوا استعمال تقانة هوائيات البلازما الموجَّهة بواسطة حقول مغنطيسية لتشكيل مصفوفة «مرايا قفّازة» أشد دقة. ولكي تعمل الحزم الناتجة جيدا، فقد تطلَّبت توجيهها في **بُعدين اثنين**[2]. ولكن العلماء لم يستطيعوا تحريكها إلا في اتجاه واحد، ولذا ألغت البحرية الأمريكية ذلك البرنامج. ■

<S. أشلي>



يختفي الهوائي عن الرادار حين فصل الكهرباء التي تغذي الأنبوب الممتلئ بالبلازما.

سُحُب الإشارة[**]

بعد إصابتك بخسائر فادحة، بقي فريق الاستطلاع التابع لك معزولا في عمق أراضي العدو. وأنت تريد إنقاذه بسرعة، لكن الجبال المحيطة تعيق اتصالاتك. فماذا تفعل؟ قد يكون ثمة حل لدى الباحثين في هوائيات البلازما. وقد سجَّل العديد منهم براءات اختراع لمفهوم يمكن بموجبه للهوائيات المعتمدة على غاز البلازما إرسال واستقبالَ الإشارات حين انقطاع واحدة أو أكثر من وصلات الاتصالات التقليدية. ومن حيث المبدأ، يمكن لشحنات متفجرة أن تُطلق نفثات من البلازما عاليا في الجو، وحينئذ يمكن لغيمة الغاز المتأيِّن الناتجة أن تَنشر بقوة إشارات كهرمغنطيسية من جهاز راديوي خاص.

(*) AERIAL STEALTH

(**) Signal Clouds

(١) منظومة الدفاع البحرية الأمريكية المضادة للصواريخ البالِيستية، وهي آخر خط دفاعي يعمل في الطور الأخير من رحلة الصاروخ المهاجِم قبل عودته إلى الغلاف الجوي.

(٢) أي يجب أن تمسح الجو أفقيا وعموديا. (التحرير)

كيف يعثر خفرُ السواحلِ على المفقودين في البحر؟[*]



مروحية خفر السواحل وهي في غمرة بحثها.

يجيب عن هذا السؤال <A. A. آلن>[1]
الذي طرحه <A. هادهازي>

نبدأ أولا باســتجواب المُبلِّغين عن المشــكلة. ونحاول معرفــة مكان وزمان وقــوع ركاب الزورق في مصاعب. متى غادروا الميناء وإلى أين كانوا ينــوون الذهاب، وفيما عدا ذلك أيــن من الممكــن أن يتوجهوا - أي هــل كانت لديهم خطة بديلــة. ونريد أيضا معرفة نوع الــزورق الذي أخذوه ومــا هي عُدَّة الإنقاذ التي معهم. وبعبــارة مختصرة، نريد تحديد جميع السيناريوهات الممكنة حول الحادث كي نكوِّن لأنفسنا صورة عما علينا أن نبحث عنه.

بعدئــذٍ، نشــرع اعتمادا علــى هذه المعلومــات في بناء اســتراتيجية البحث بمســاعدة برنامج حاســوبي لتخطيط البحث اسمه «منظومة التخطيط الأمثل للبحث والإنقاذ.» وهو برنامج يرمز إليه اختصــارا بالحروف (SAROPS)[2] ويعمل على محاكاة مســارات مختلف أنواع الأشياء وهي تنجرف بتيار المياه. إن هذا البرنامج مبني على أُســس مونتي كارلو الإحصائيــة التي تحاكي وحدات تســمى جســيمات. تمثل بعض الجســيمات أشــخاصا في البحر، وتمثــل الأُخرى الــزورق. يمكــن أن تبدأ جميع الجســيمات بالانجراف عند مختلف الأوقات وفي مختلف الأمكنة. ونســتطيع بالاستعانة بالبرنامــج SAROPS وضــع أكثر مــن 10 000 تخمين حول مــكان وقوع ركاب الزورق فــي المصاعب ومتى وأين يمكن أن يكــون الأمر انتهى بهم. ويقــوم البرنامج بتقييم مختلف الســيناريوهات ويشير إلى أي منها أكثر ترجيحا. وبطبيعة

(*) HOW DOES THE COAST GUARD FIND PEOPLE LOST AT SEA?

(١) Artur A. Allen فيزيائي في علوم المحيطات، ويعمل لدى مكتب خفر سواحل الولايات المتحدة الأمريكية للبحث والإنقاذ في واشنطن العاصمة.

(٢) the Search and Rescue Optimal Planning System

الحال، يبقى هنالك باستمرار مجال للشك.

ولغرض البدء باتخاذ تدابير البحث بالبرنامج SAROPS نختار من قائمة أشـيـاء سبق أن نُمْذِجَتْ بوسائل رياضياتية سُـرَعُ انجرافها تحـت مختلـف الظـروف. وتتوافر لدينا معلومات عن الصفات المميزة لانجراف كثير من الأشـيـاء: من البشــر إلى براميل نفط ذات سعة 55 گالون وإلى شتى أنواع المراكب مثل قوارب الإنقاذ المطاطية و**الكياك البحري** sea kayaks والمراكـب الشــراعية و**الإسـكف** skiffs و**رمـث اللاجئين** refugee rafts. وعلى سـبيل المثال، علمنا في حالة حديثة أن الأشــخاص المفقودين قد انطلقوا بقارب رياضة ذي مركز للراديو، فأدخلنا ذلك الخيار في النموذج.

ويأخذ البرنامـج SAROPS بالاعتبار تأثيرات الريح على مختلـف التيارات فـي المحيط. لنضرب مثـلا: أنا جالس في مكتبي عند الساعة العاشــرة والنصف صباحا وأخطط للطيران بمروحية (هيليكوپتر) من الساعة الثانية عشرة إلى الثالثـة بعد الظهر وأحتاج إلى معرفـة أنماط الرياح خلال طــوال الفتــرة منذ وقوع الحــادث وإلى بعد الظهــر للتنبؤ بالمكان الممكن أن يكون الناجون قد انجرفوا إليه أثناء هذه الفترة. وكي نعالج أمثال تلك الأمور المطلوبة، طوَّرنا جهازا فعَّالا يسـمى «مُخدِّم البيانات البيئية» الــذي يُغَذّى ببِيانات مُحَدَّثـة مرات عدة يوميا عــن الرياح والتيارات من مصادر متنوعـة منهـا الإدارة المحيطية والجويـة الوطنية والقوة البحريـة الأمريكية ومصادر أكاديميـة. ويعمل المخدِّم على ترجمـة جميع تلك البيانات إلى صيغـة عامة بحيث يمكننا إدخال المعلومات في البرنامج SAROPS.

وعندما تكون أفضلُ تقديراتنا حول مكان احتمال وجود المنكوبيــن تحت تصرفنا نقوم عادةً بنشــر مروحيات من نوع C-130 وزوارق تسـمى قاطعات وزوارق نجاة بمحركات في محاولة لإيجادهم. نعرف احتمال الكشـف لكل نوع من الطائرات والــزوارق إذا اتبعتْ مسـارا مُعَيَّنا. وندخل في حساباتنا النتائج المترتبة لتنبؤاتنا؛ لأن أمواج البحر المزبدة تخفض من مدى الرؤية. فسـطح المحيط مكان عسير جدا لإيجاد شـخص. وعلى الرغم من إجرائنا البحث في منطقة شاسعة المساحة تبلغ عددا كبيرا جدا من الأميال المربعة، فإن المحيط واسع جدا جدا ونحن صغار جدا. ولعل بحثنا يشـبه التفتيـش عن كرة قدم (رأس إنسـان فوق الماء) في منطقة مساحتها بقدر ولاية كونيكتيكت الأمريكية.

وإذا حدد البحث والمنقذون مكان أحد ما، فإننا عندئذ نعمد إلى سؤال الشخص، عندما يكون ذلك ممكنا، ونعود أدراجنا إلى بداية السـيناريوهات لنعدلها وفقا لأقواله. وفي جميع الأحوال، فإننا نُحَدِّثُ باستمرار نماذجنا ونجعل طرق بحثنا أمثل ما تكون آخذين بالاعتبار الزمن الذي مرّ وتغير الظروف.

وهنالـك جانب آخر للعمليات المتعلقة ببحثنا وبأسـاليب الإنقاذ يرتبط بنماذج البُقيا. ومن أمثال ما لدينا نموذجٌ لحساب درجة الحرارة المحتملة لشــخص وهو فــي ماء بارد مع الأخذ بالاعتبار ما فُقد من حرارة إلى الماء وما تولد من حرارة بسبب الارتجاف. هذا موقف يسـتفيد منه الإنسان ذو الجسم الكبير أو الممتلئ أو ذو العضلات. كما يمكن أن يتفاقم وَهَنُ الناس بالتيبس بسـبب فقدانهم الماء. إضافة إلــى فقدان الحرارة، يفقد الضحيةُ الماءَ بالاستقلاب والتنفس والتعرق وهي حالات تحصــل غالبا في المياه الدافئــة. وهنالـك تهديدات أُخرى للحياة لا تتوافر لدينا نماذج لها حتى الآن تشـمل مِنْ بين ما تشمل التعرض للافتراس ونفاد الطعام.

وإذا أنبأتنا نماذجُنــا أن الأمل في بقاء الضحايا على قيد الحيــاة قد فُقِد من الناحية الواقعية، فربما ندعو إلى التوقف عن البحث حتى ولو كانت الظروف الجوية تسمح لنا بالاستمرار فيه. وعلى الرغم من تقاناتنا وأفضل جهودنا، فَمِنْ المؤسف أنه لا يمكن إيجاد جميع مَنْ فُقِدوا في البحر.

هل لديك سؤال؟... ابعث به إلى العنوان التالي:
experts@SciAm.com
أو قم بزيارة الموقع:
www.ScientificAmerican.com/asktheexperts


Majallat AlOloom May / June - 2010 Volume 26 Number 5/6 SCIENTIFIC AMERICAN

4



PHYSICS

Adventures in Curved Spacetime

By Eduardo Guéron

The possibility of «swimming» and «gliding» in curved, empty space shows that, even after nine decades, Einstein's theory of general relativity continues to amaze.

14



INFORMATION TECHNOLOGY

Real Money from Virtual Worlds

By Richard Heeks

Online fantasy games enable developing world entrepreneurs to make a living by trading stashes of make-believe gold for hard cash.

22



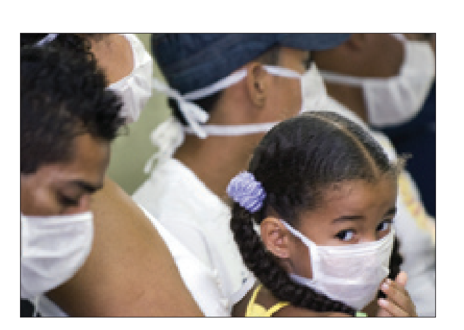
EVOLUTION

The Evolution of Primate Color Vision

By Gerald H. Jacobs - Jeremy Nathans

Analyses of primate visual pigments show that our color vision evolved in an unusual way and that the brain is more adaptable than generally thought.

32



MEDICINE

Boosting Vaccine Power

By Nathalie Garçon - Michel Goldman

Modern insights into the immune system have revived interest in a set of ingredients that can supercharge old vaccines and make entirely new ones possible.

42

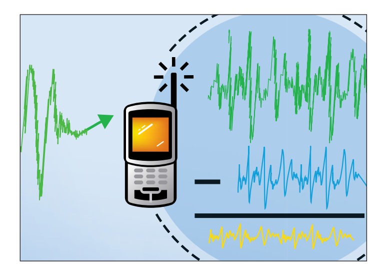


ENVIRONMENT

Local Nuclear War, Global Suffering

By Alan Robock - Owen Brian Toon

A nuclear war between India and Pakistan could cool the globe and starve much of the human race.

52 

TECHNOLOGY

The Rise of Instant Wireless Networks

By Michelle Effros - Andrea Goldsmith - Muriel Médard

Wireless networks that form on the fly bring communications to the most foreboding environments.

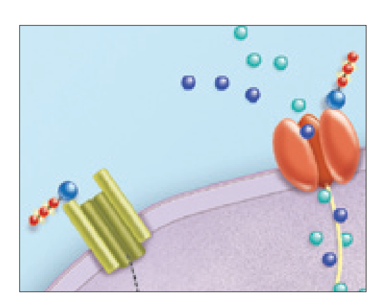
58 

ENVIRONMENT

Could Food Shortages Bring Down Civilization?

By Lester R. Brown

The biggest threat to global stability is the potential for food crises in poor countries to cause government collapse. Those crises are brought on by ever worsening environmental degradation.

68 

MEDICINE

The Double Life of ATP

By Baljit S. Khakh - Geoffrey Burnstock

Famous as an essential energy source inside cells, the molecule ATP also carries critical messages throughout the body. That dual role suggests fresh ideas for fighting diseases.

78 

MEDICINE

The Art of Bacterial Warfare

By B. Brett Finlay

New research reveals how bacteria hijack our body's cells and outwit our immune system–and how we can use their own weapons against them.

88 

MEDICINE

Toxic Gas, Lifesaver

By Rui Wang

Though lethal, hydrogen sulfide turns out to play key roles in the body–a finding that could lead to new treatments for heart attack victims and others.

96 **News Scan**

Plasma antennas disappear when shut off.

97 **Ask the Experts**

How does the Coast Guard find people lost at sea?

SCIENTIFIC AMERICAN®
Established 1845

EDITOR IN CHIEF: Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR: Ricki L. Rusting
CHIEF NEWS EDITOR: Philip M. Yam
SEnIor writeR: Gary Stix
EDITORS: Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson

ASSOCIATE EDITORS, ONLINE: David Biello, Larry Greenemeier
NEWS REPORTER, ONLINE: John Matson
ART DIRECTOR, ONLINE: Ryan Reid

ART DIRECTOR: Edward Bell
ASSISTANT ART DIRECTOR: Jen Christiansen
PHOTOGRAPHY EDITOR: Monica Bradley

COPY DIRECTOR: Maria-Christina Keller

EDITORIAL ADMINISTRATOR: Avonelle Wing
SENIOR SECRETARY: Maya Harty

COPY AND PRODUCTION, NATURE PUBLISHING GROUP:
SENIOR COPY EDITOR, NPG: Daniel C. Schlenoff
COPY EDITOR, NPG: Michael Battaglia
EDITORIAL ASSISTANT, NPG: Ann Chin
MANAGING PRODUCTION EDITOR, NPG: Richard Hunt
SENIOR PRODUCTION EDITOR, NPG: Michelle Wright

PRODUCTION MANAGER: Christina Hippeli
ADVERTISING PRODUCTION MANAGER: Carl Cherebin
PREPRESS AND QUALITY MANAGER: Silvia De Santis
CUSTOM PUBLISHING MANAGER: Madelyn Keyes-Milch

PRESIDENT: Steven Inchcoombe
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION: Frances Newburg

VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT: Michael Florek
BUSINESS MANAGER: Marie Maher

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag